

Nios II - 割り込みの実現

ver.14

Nios II - 割り込みの実現

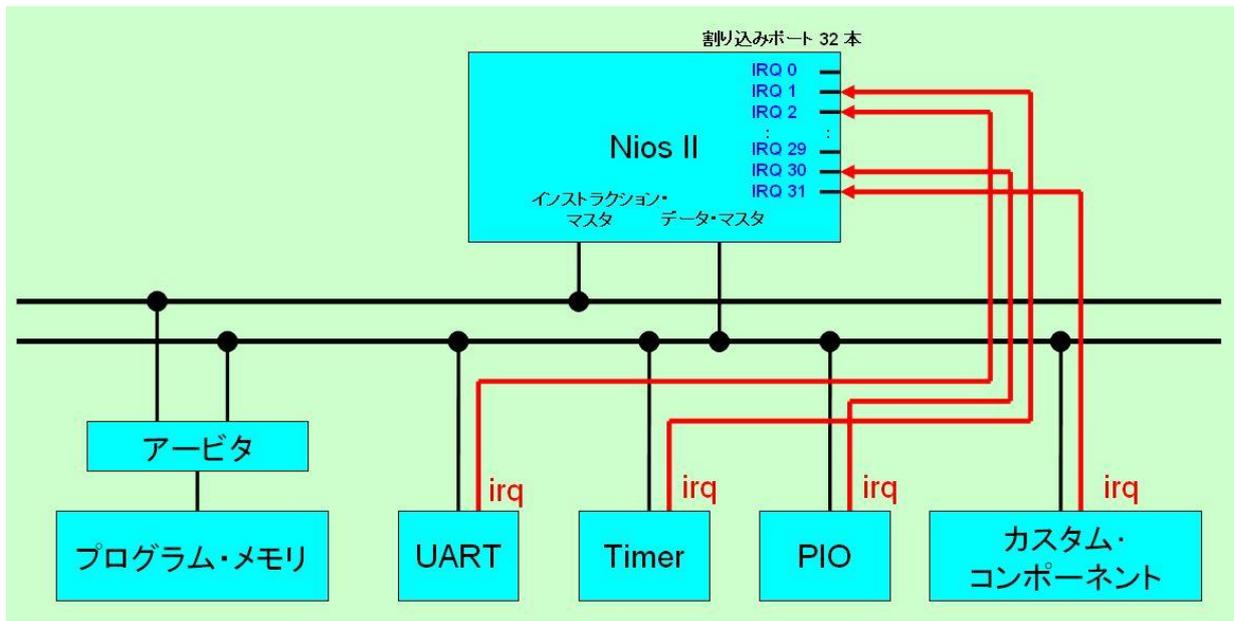
目次

1. はじめに	3
2. Nios II ハードウェア割り込みの処理フロー	4
2-1. 「例外」の検出	4
2-2. 例外ベクタに処理を移行	4
2-3. 例外ハンドラの実行	5
2-4. 割り込み処理ルーチン (ISR) の実行	5
2-5. 復帰	5
3. 実装方法	6
3-1. 割り込み要求 (IRQ) の設定	6
3-2. 割り込み処理ルーチンの登録方法	7
3-3. 割り込みの有効化/無効化と多重割り込み	7
4. 参考	8
改版履歴	9

1. はじめに

この資料では、Nios® II の割り込みの実現フローを紹介します。Nios II のシステムでは、スレーブより Nios II へ割り込みのトリガとして、リクエスト(irq)がアサートされます。そして、Nios II は各スレーブの割り込みに対応したサービス・ルーチンを実施します。下図では、UART、Timer、PIO、カスタム・コンポーネントが割り込みのリクエストを発行できるペリフェラルとして登録されています。各割り込みライン(irq)は、Nios II の割り込みポートに接続されており、Nios II は各ペリフェラルからの割り込み要求に応じて、必要な処理を実行します。各ペリフェラルは、割り込み番号として 0 から 31 までを登録でき、0 の優先順位が最も高く、31 が最も低い仕様となっています。

この資料の内容は、Quartus® II 開発ソフトウェア v14.0 と Nios II Software Build Tools(以降、Nios II SBT) v14.0 で動作確認を行っています。



2. Nios II ハードウェア割り込みの処理フロー

ハードウェア割り込みも含めて、「例外」が発生したときの処理フローについて説明します。

2-1. 「例外」の検出

プッシュボタン等の外部割り込みに代表される外部イベントや、未実装命令検出等の内部イベントが発生した場合、Nios II プロセッサは「例外」を検出して、制御が通常の実行フローから例外処理に移行します。「例外」検出後、最初に例外発生前のプロセッサの状態を保存します。

2-2. 例外ベクタに処理を移行

例外ベクタ(例外アドレス)に実行を移します。Nios II プロセッサのアーキテクチャーでは、いかなる例外が発生しても、1 つの例外ベクタに実行を移します。ソフト・コア・プロセッサの Nios II の場合、例外ベクタはシステム生成時にユーザ側で事前に Qsys システム統合ツール(以降、Qsys)より指定する必要があります。

下図の場合、例外ベクタはアドレス・マップ上の 0x00120020 になります。このアドレスは、ベース・アドレス 0x00120000 の “onchip_memory”(FPGA 内蔵メモリ)領域のオフセット 0x20 となります。

※ オフセットは必ず 0x20 以上にしてください。

The screenshot shows the configuration interface for the Nios II Processor. The 'Exception Vector' section is highlighted with a red box. The settings are as follows:

	Nios II/e	Nios II/s	Nios II/f
Nios II Selector Guide	RISC 32-bit	RISC 32-bit Instruction Cache Branch Prediction Hardware Multiply Hardware Divide	RISC 32-bit Instruction Cache Branch Prediction Hardware Multiply Hardware Divide Barrel Shifter Data Cache Dynamic Branch Prediction
Memory Usage (e.g. Stratix IV)	Two M9Ks (or equiv)	Two M9Ks + cache	Three M9Ks + cache

Reset vector memory:	onchip_memory.s1
Reset vector offset:	0x00000000
Reset vector:	0x00120000
Exception vector memory:	onchip_memory.s1
Exception vector offset:	0x00000020
Exception vector:	0x00120020

2-3. 例外ハンドラの実行

例外ベクタには例外ハンドラが配置されており、「例外」の要因を特定して適切な例外処理を実行するプログラム(例外処理ルーチン)に実行を移します。Nios II プロセッサのアーキテクチャーでは、3 種類の例外ハンドラが定義されています。

1) _irq_entry()

例外タイプを判別します。例外タイプを「ハードウェア割り込み」と判定した場合、alt_irq_handler() を呼び出します。例外タイプを「ソフトウェア割り込み」と判定した場合、software_exception() を呼び出します。

2) alt_irq_handler()

割り込み要因(割り込み要求番号)を特定して、その割り込みに対する登録済の割り込み処理ルーチン呼び出します。割り込み処理ルーチンの登録は、alt_irq_register() という登録専用の HALAPI を使用します。

3) software_exception()

ソフトウェア例外の原因を特定します。例えば、未実装例外が発生した場合、適切な命令エミュレーション・ルーチン呼び出します。

注: 未実装例外

Nios II では、fast(速度重視)/ standard(速度・回路規模とのバランスを考慮)/ economy(回路規模重視)の3種類のコアを選択できますが、互いに同じソフトウェア・コードを利用できるような工夫が行われております。例えば、ハードウェア乗算器を実装している Nios II fast コアで実行される乗算命令を、ハードウェア乗算器を実装していない Nios II economy コアで実行した場合、「未実装例外」が発生して、加算命令でエミュレーションすることで乗算命令を処理します。(Nios II SBT を常時使用していれば、ユーザがこの部分を意識する必要はありません。)

2-4. 割り込み処理ルーチン(ISR)の実行

ユーザが作成した割り込み処理専用のソフトウェア・プログラムに実行を移します。

2-5. 復帰

割り込み処理ルーチン(ISR)が終了すると、Nios II プロセッサは例外が発生する前の状態に復帰します。

3. 実装方法

3-1. 割り込み要求(IRQ)の設定

ペリフェラルを Qsys に追加した場合、ユーザはペリフェラルの割り込み要求(IRQ)に対してハードウェア割り込みの優先順位(IRQ 番号)を任意に設定することができます。アルテラ社の Qsys では、右側に表示される番号が IRQ 番号に該当します。この番号が若い IRQ(つまり、IRQ0)で設定したペリフェラルが優先順位の最も高い割り込みになります。

下図では、PIO ペリフェラルを "button_pio" という名称で Qsys に組み込んでいる例を示しています。ここでは、"IRQ 2" として Qsys に登録しています。

Use	Connections	Module Name	Description	Clock	Base	End	IRQ
<input checked="" type="checkbox"/>		pll	PLL	clk	0x200020	0x20003f	
<input checked="" type="checkbox"/>		cpu	Nios II Processor				
<input checked="" type="checkbox"/>		instruction_master	Avalon Memory Mapped Master	pll_c0		100 31	
<input checked="" type="checkbox"/>		data_master	Avalon Memory Mapped Master	pll_c0	000 0	100 31	
<input checked="" type="checkbox"/>		ext_flash_enet_base	Avalon-16M TriState Bridge	pll_c0	0x02120000	0x021201ff	
<input checked="" type="checkbox"/>		switch_slave	Avalon Memory Mapped Slave	pll_c0			
<input checked="" type="checkbox"/>		tristate_master	Avalon Memory Mapped TriState Master	pll_c0			
<input checked="" type="checkbox"/>		sys_clk_slave	Interval Timer	pll_c0	0x02120000	0x0212001f	
<input checked="" type="checkbox"/>		s1	Avalon Memory Mapped Slave	pll_c0			
<input checked="" type="checkbox"/>		sysid	System ID Peripheral	pll_c0	0x02120000	0x0212000f	
<input checked="" type="checkbox"/>		control_slave	Avalon Memory Mapped Slave	pll_c0	0x02120000	0x0212000f	
<input checked="" type="checkbox"/>		reconfig_request_pio	PIO (Parallel IO)	pll_c0	0x02120000	0x0212000f	
<input checked="" type="checkbox"/>		s1	Avalon Memory Mapped Slave	pll_c0	0x02120000	0x0212000f	
<input checked="" type="checkbox"/>		jtag_uart	JTAG UART	pll_c0	0x02120000	0x0212000f	
<input checked="" type="checkbox"/>		avision_jtag_slave	Avalon Memory Mapped Slave	pll_c0	0x02120000	0x0212000f	
<input checked="" type="checkbox"/>		high_res_timer	Interval Timer	pll_c0	0x02120020	0x0212003f	
<input checked="" type="checkbox"/>		s1	Avalon Memory Mapped Slave	pll_c0			
<input checked="" type="checkbox"/>		ext_flash	Flash Memory (CFP)	pll_c0	0x02120020	0x0212003f	
<input checked="" type="checkbox"/>		lanh1c111	LANH1C111 Ethernet	pll_c0	0x00000000	0x00000000	
<input checked="" type="checkbox"/>		s1	Avalon Memory Mapped TriState Slave	pll_c0	0x00000000	0x00000000	
<input checked="" type="checkbox"/>		lcd_display	Character LCD	pll_c0	0x02110000	0x0211000f	
<input checked="" type="checkbox"/>		control_slave	Avalon Memory Mapped Slave	pll_c0	0x02120000	0x0212000f	
<input checked="" type="checkbox"/>		uart1	UART (RS-232 Serial Port)	pll_c0	0x02120000	0x0212000f	
<input checked="" type="checkbox"/>		s1	Avalon Memory Mapped Slave	pll_c0	0x02120000	0x0212000f	
<input checked="" type="checkbox"/>		button_pio	PIO (Parallel IO)	pll_c0	0x02120000	0x0212000f	2
<input checked="" type="checkbox"/>		s1	Avalon Memory Mapped Slave	pll_c0	0x02120000	0x0212000f	
<input checked="" type="checkbox"/>		led_pio	PIO (Parallel IO)	pll_c0	0x02120000	0x0212000f	
<input checked="" type="checkbox"/>		s1	Avalon Memory Mapped Slave	pll_c0	0x02120000	0x0212000f	
<input checked="" type="checkbox"/>		seven_seg_pio	PIO (Parallel IO)	pll_c0	0x02120000	0x0212000f	
<input checked="" type="checkbox"/>		s1	Avalon Memory Mapped Slave	pll_c0	0x02120000	0x0212000f	

3-2. 割り込み処理ルーチンの登録方法

alt_irq_register() という登録専用の HAL API を使用します。この HAL API は、通常プログラムの main 関数に記述します。この HAL API のフォーマットは次の通りです。

```
alt_irq_register( IRQ 番号、 ISR へのコンテキスト、 割り込み処理ルーチン名)
```

例 : alt_irq_register (BUTTON_PIO_IRQ , edge_capture_ptr , button_interrupts);

割り込み処理ルーチンは、main() の外で用意します。IRQ 番号は、Qsys で登録した割り込みをかけるコンポーネントの番号です。system.h ファイルに「ペリフェラル名_IRQ」で定義されます。

詳細は下記のドキュメントを参照ください。

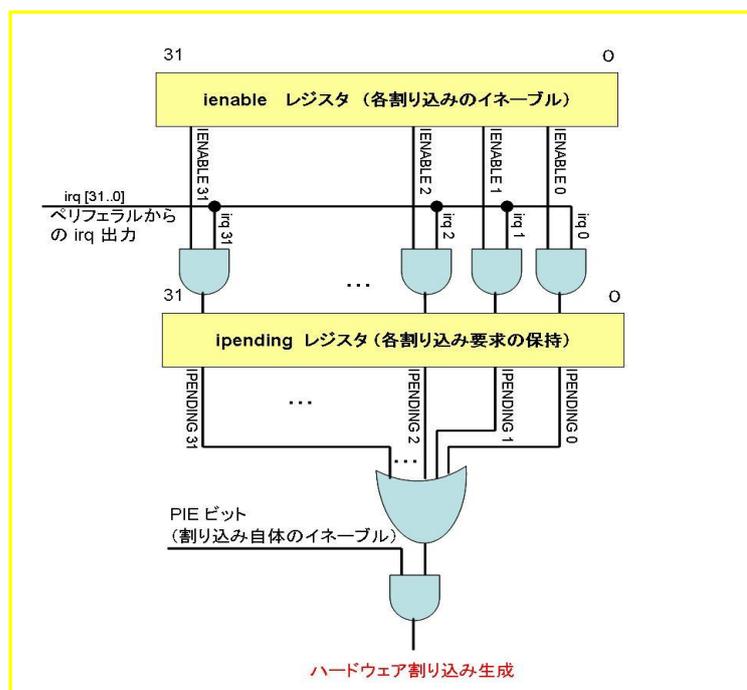
https://www.altera.co.jp/ja_JP/pdfs/literature/hb/nios2/n2sw_nii52006_j.pdf

https://www.altera.co.jp/ja_JP/pdfs/literature/hb/nios2/n2sw_nii52010_j.pdf

3-3. 割り込みの有効化/無効化と多重割り込み

デフォルトでは、割り込みがかかると、alt_irq_disable_all() が実行され、今行われている割り込み以外の要求を無効にしますので多重割り込みはできません。多重割り込みを可能にする場合は、サービス・ルーチン(ISR)内で他の割り込みを許可するために、alt_irq_enable() の API を使用します。その後再び、割り込みを禁止させる場合は、alt_irq_disable() を使用します。

下図のように、割り込み毎に割り込みのイネーブル・ビットがあり、有効になっているポートのハードウェア割り込みを認識します。



4. 参考

以下のサンプル・ソースは、ボタン割り込みを使用した場合のソフトウェア・サンプルです。このサンプルでは、ボタン4つを接続したPIO (BUTTON_PIO) の Edge capture register を使用して、ボタンの押された位置を検出します。同時にボタンからの割り込みを登録しているので、ボタンが押されると Nios II に対して割り込みが発生し、登録した割り込みサービス・ルーチンが実行されます。割り込みサービス・ルーチンでは、Edge capture register の値を読み込んでボタンの位置に対応した LED (LED_PIO) を点灯します。詳細は、別資料の「Nios II - ペリフェラル PIO (Parallel I/O) 簡易ユーザ・ガイド」にありますので、併せて参照ください。

```
#include <stdio.h>
#include "system.h"
#include "altera_avalon_pio_regs.h"
#include "sys/alt_irq.h"

/* ボタン割り込みのサービス・ルーチン */
static void button_interrupts(void* context, alt_u32 id)
{
    int button_position;    // ボタンが押された場所の保存に使用
    button_position = IORD_ALTERA_AVALON_PIO_EDGE_CAP(BUTTON_PIO_BASE);
                        // ボタンPIOのエッジ・キャプチャ・レジスタを読み込み
                        // どのポジションのボタンが押されたかを検出

    IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(LED_PIO_BASE, button_position);
                        // 押されたボタンに対応したLEDのビットを点灯

    /* エッジ・キャプチャ・レジスタのリセット */
    IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_EDGE_CAP(BUTTON_PIO_BASE, 0x0);
    button_position = 0x0;
}

/* メインルーチン */
int main(void)
{
    printf("Interrupt test\n");

    /* PIOの初期化 */
    // 特定のボタンのみマスクをかけて有効にする (ボタンが4つの場合)
    IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_IRQ_MASK(BUTTON_PIO_BASE, 0xF);

    // エッジ・キャプチャ・レジスタのリセット
    IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_EDGE_CAP(BUTTON_PIO_BASE, 0x0);

    // 割り込みハンドラの登録
    alt_irq_register(BUTTON_PIO_IRQ, 0, button_interrupts);

    while(1)
    {
        // ボタンの割り込みを待つ
    }

    return 0;
}
```

改版履歴

Revision	年月	概要
1	2014 年 11 月	初版
2	2015 年 4 月	アルテラ社の Web サイトのリニューアルに伴う URL 変更 誤記訂正 P.5 誤)first ⇒ 正)fast

免責およびご利用上の注意

弊社より資料を入手されましたお客様におかれましては、下記の使用上の注意を一読いただいた上でご使用ください。

1. 本資料は非売品です。許可無く転売することや無断複製することを禁じます。
2. 本資料は予告なく変更することがあります。
3. 本資料の作成には万全を期していますが、万一ご不明な点や誤り、記載漏れなどお気づきの点がありましたら、本資料を入手されました下記代理店までご一報いただければ幸いです。

株式会社アルティマ ホームページ: <http://www.altima.co.jp> 技術情報サイト EDISON: <https://www.altima.jp/members/index.cfm>

株式会社エルセナ ホームページ: <http://www.elsena.co.jp> 技術情報サイト ETS : <https://www.elsena.co.jp/elspear/members/index.cfm>

4. 本資料で取り扱っている回路、技術、プログラムに関して運用した結果の影響については、責任を負いかねますのであらかじめご了承ください。
5. 本資料は製品を利用する際の補助的な資料です。製品をご使用になる際は、各メーカー発行の英語版の資料もあわせてご利用ください。