Aula 8

- O sistema de interrupções do PIC32

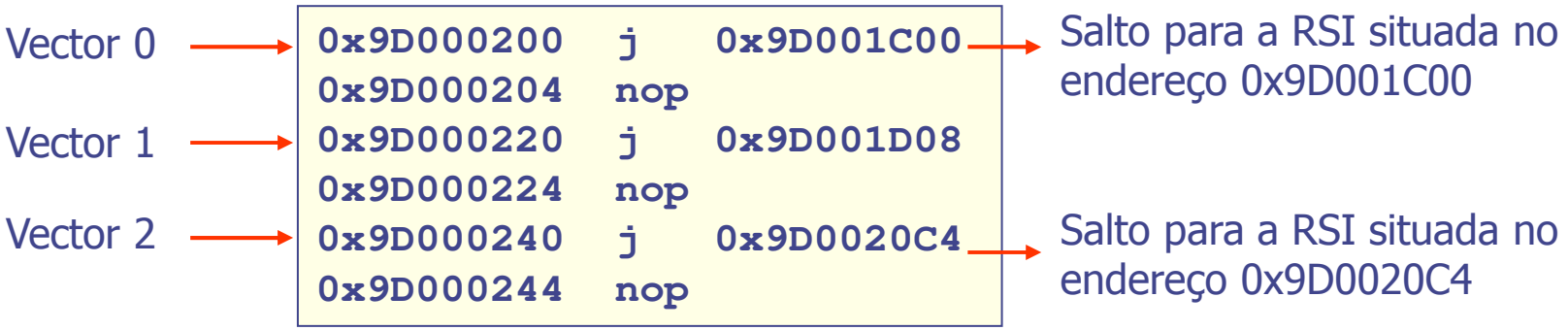
José Luís Azevedo, Bernardo Cunha, Tomás Oliveira e Silva

Interrupções no PIC32

- O PIC32 pode ser configurado em um de dois modos:
  - **Single-vector mode** – um único vetor (0) para todas as fontes de interrupção, ou seja, identificação da fonte por software
  - **Multi-vector mode** – Interrupções vetorizadas (vetores definidos pelo fabricante para todas as fontes – ver PIC32MX7XX Family Data Sheet – Interrupt Controller)
- **Na placa DETPIC32 o sistema de interrupções está configurado para "multi-vector mode"**
- O sistema de interrupções do PIC32 é baseado num módulo de gestão exterior ao CPU (controlador de interrupções)
  - Até 96 fontes de interrupção (75 no PIC32MX7xx) das quais 5 fontes externas com configuração de transição ativa (*rising* ou *falling edge*)
  - Até 64 vetores (51 no PIC32MX7xx)
- O controlador de interrupções permite, entre outras coisas, a configuração das prioridades de cada fonte
  - Funciona como um ***priority encoder*** enviando para o CPU o pedido pendente de maior prioridade (identificado com vetor e prioridade)

Tabela de vetores (multi-vector mode)

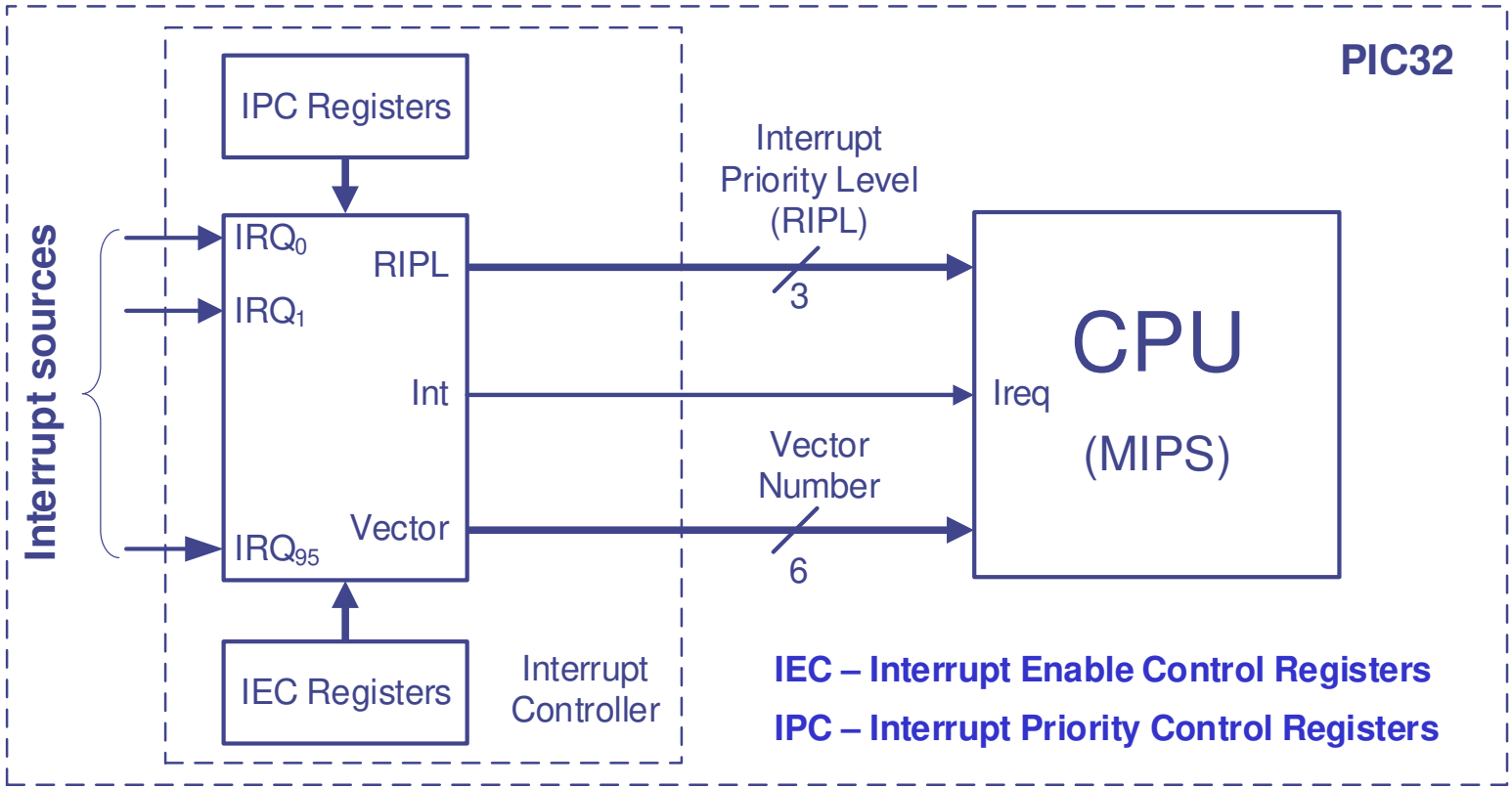
- **Tabela inicializada com instruções de salto para as RSI**: são colocadas na tabela de vetores, instruções de salto para as RSI
- No processamento da interrupção o CPU usa o vetor para calcular o endereço da tabela de vetores e faz um salto para esse endereço (ou seja, PC <= endereço calculado)
- Cada posição da tabela tem, em geral, uma instrução de salto incondicional para a RSI a executar
- O espaçamento entre elementos da tabela pode ser configurado para 32, 64, 128, 256 ou 512 bytes (valor por defeito: 32 = 0x20)



- **Exemplo**: vetor=2, base_address=0x9D000200, espaçamento=32
  endereço_tabela = vetor * 0x20 + 0x9D000200 = 0x9D000240

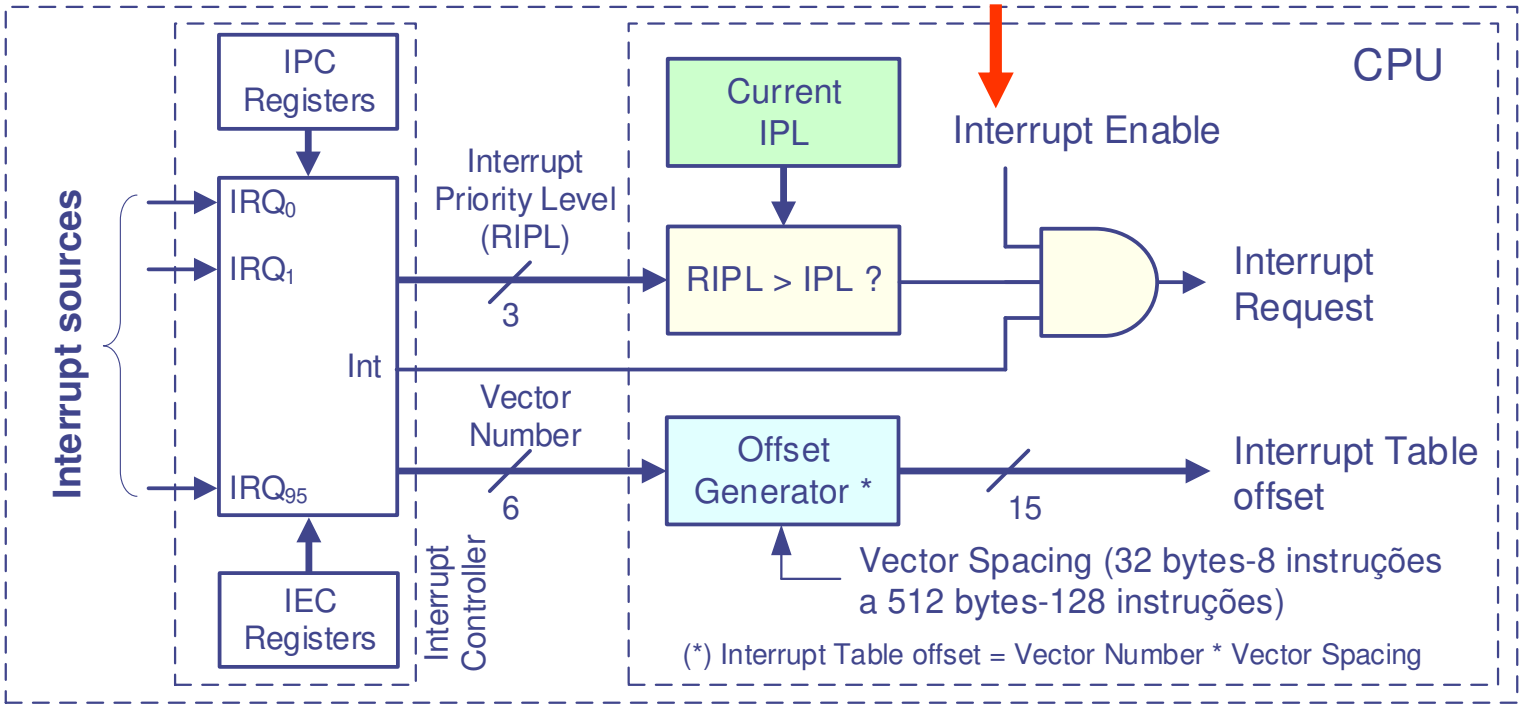
Interrupções no PIC32

- Fontes de interrupção:
  - Internas: até 91, de periféricos internos; externas: 5



- O pedido pendente com maior prioridade é encaminhado para o CPU (identificado pelo vetor e pela prioridade – RIPL)

Interrupções no PIC32



- Para que o CPU reconheça interrupções o sinal "Interrupt Enable" tem que ser ativado, através da instrução **EI** (por defeito está inativo)
- Uma RSI de uma interrupção com prioridade IPL pode ser interrompida por uma de prioridade RIPL se **RIPL > IPL**
- O endereço inicial da tabela de vetores de interrupção (*Interrupt Table*) e o valor do "vector spacing" são configuráveis por software

Interrupções no PIC32

- **IEC0**, **IEC1**, **IEC2** – Interrupt Enable **Control Registers**
  - Registos através dos quais se pode habilitar / desativar (*enable* / *disable*) qualquer fonte de interrupção. Cada módulo do PIC32 que pode gerar interrupções usa 1 ou mais bits destes registos
- **IPC0**, **IPC1**, …, **IPC12** – Interrupt Priority **Control Registers**
  - Registos através dos quais se pode configurar, com 3 bits, a prioridade de cada uma das fontes de interrupção (0 a 7)
- **IFS0**, **IFS1**, **IFS2** – Interrupt Flag **Status Registers**
  - Flags de sinalização da ocorrência de interrupções, de todas as fontes possíveis. Cada módulo do PIC32 que pode gerar interrupções usa 1 ou mais bits destes registos
- **INTCON** – Interrupt **Control Register**
  - Configura a polaridade da transição ativa das fontes de interrupção externa (rising edge / falling edge)

Interrupções no PIC32

- Cada fonte de interrupção tem associado um conjunto de bits de configuração e de status
- **Interrupt Enable Bit** – bit definido num dos registos **IECx** (Interrupt Enable Control Registers), através do qual se pode fazer o *enable* ou o *disable* de uma dada fonte de interrupção. O nome do bit é, normalmente, formado pela sigla identificativa da fonte, terminada com o sufixo **IE** (e.g. **T1IE**, *Timer1 Interrupt Enable*)
- **Priority Level** – conjunto de 3 bits definido num dos registos **IPCx** (Interrupt Priority Control Registers), designado através da sigla da fonte com o sufixo **IP** (e.g. **T1IP**, *Timer1 Interrupt Priority*)
  - 7 níveis de prioridade (1 a 7); a prioridade 0 significa fonte *disabled*
- **Interrupt Flag** – bit definido num dos registos **IFSx** (Interrupt Flag Status Registers) e designado com a sigla da fonte com o sufixo **IF** (e.g. **T1IF**, *Timer1 Interrupt Flag*). Este bit é ativado automaticamente quando ocorre uma interrupção. A desativação é da responsabilidade do programador

Exemplo de uma tabela de vetores no PIC32

```
#vector_7   (INT1, External Interrupt 1)
0x9D0002E0      0x0B40074D   j      0x9D001D34
0x9D0002E4      0x00000000   nop

#vector_8   (T2 - Timer2)
0x9D000300      0x0B4006C3   j      0x9D001B0C
0x9D000304      0x00000000   nop

#vector_19 (INT4 - External Interrupt 4)
0x9D000460      0x0B40077A   j      0x9D001DE8
0x9D000464      0x00000000   nop
```

- Na placa DETPIC32 o endereço inicial da tabela de vetores (a que corresponde o vetor 0) é **0x9D000200**.

Rotina de Serviço à Interrupção no PIC32

TABLE 7-1: INTERRUPT IRQ, VECTOR AND BIT LOCATION

Interrupt Source(1)	IRQ Number	Vector Number	Interrupt Bit Location			
			Flag	Enable	Priority	Sub-Priority
Highest Natural Order Priority						
CT – Core Timer Interrupt	0	0	IFS0<0>	IEC0<0>	IPC0<4:2>	IPC0<1:0>
CS0 – Core Software Interrupt 0	1	1	IFS0<1>	IEC0<1>	IPC0<12:10>	IPC0<9:8>
CS1 – Core Software Interrupt 1	2	2	IFS0<2>	IEC0<2>	IPC0<20:18>	IPC0<17:16>
INT0 – External Interrupt 0	3	3	IFS0<3>	IEC0<3>	IPC0<28:26>	IPC0<25:24>
T1 – Timer1	4	4	IFS0<4>	IEC0<4>	IPC1<4:2>	IPC1<1:0>

Fonte

Interrupt Function

Vector Number

Function Name

```
void _int_( 4 ) isr_t1(void)
{
   ...
   IFS0bits.T1IF = 0;// Reset T1 Interrupt Flag
}
```

TABLE 7-1: [PIC32MX7XX Family Data Sheet#page 74 - 76]

Exemplo de programação com interrupções no PIC32

```
int main(void)
{
   configIO();              // Config IO and Interrupt
                            //   Controller
   EnableInterrupts(); // Enable Interrupt System. Macro
                            // definida em detpic32.h como:
                            //     asm volatile("ei")
   while(1)
   {
      ...
   }
   return 0;
}
// IO Configuration function
void configIO(void)
{
   ...
   IFS0bits.T1IF = 0;    // Reset Timer 1 interrupt flag
   IPC1bits.T1IP = 2;    // Set priority level to 2
   IEC0bits.T1IE = 1;    // Enable Timer 1 interrupts
   ...
}
```

Exemplo de programação com interrupções no PIC32

```
// Interrupt Service routine - Timer1
void _int_( 4 ) isr_t1(void)
{
   ...
   IFS0bits.T1IF = 0;    // Reset Timer 1 Interrupt Flag
}
// Interrupt Service routine - External Interrupt 1
void _int_( 7 ) isr_ext_int1(void)
{
   ...
   IFS0bits.INT1IF = 0; // Reset External Interrupt 1 Flag
}
// Interrupt Service routine - External Interrupt 4
void _int_( 19 ) isr_ext_int4(void)
{
   ...
   IFS0bits.INT4IF = 0; // Reset External Interrupt 4 Flag
}
```