

Linguagens de Montagem

Instruções Vetoriais SSE Aula 12

Edmar André Bellorini

Ano letivo 2021

Introdução

Introdução

- Na aula anterior sobre Ponto-flutuante
 - 2ª Geração
 - SSE evolução de MMX
 - Instruções Escalares para FP
 - Instruções Vetoriais para FP
- MMX
 - Instruções SIMD
Single Instruction, Multiple Data - [by Flynn](#)
 - 8 Registradores MMX de 64 bits
 - Packed Integer
 - 1 int 64 bits
 - 2 int 32 bits
 - 4 int 16 bits
 - 8 int 08 bits
 - Não será discutido nesta disciplina.

SSE - Vetorial

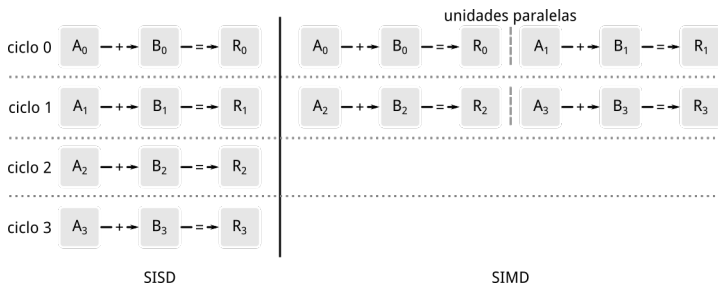
SIMD

■ Single Instruction, Multiple Data

- Uma única instrução é executada em vários pares de operandos
- Exemplo:

Somar cada par i de elementos de dois vetores A e B

SISD vs SIMD



SSE - Vetorial - Tipos de Dados

SSE

- Packed Single-Precision (32 bits)
 - 4 floats empacotados em 128 bits

SSE2

- Packed Double-Precision (64 bits)
 - 2 doubles empacotados em 128 bits
- Packed Integers-Bytes (08 bits)
 - 16 inteiros empacotados em 128 bits
- Packed Integers-Word (16 bits)
 - 8 inteiros empacotados em 128 bits
- Packed Integers-Doubleword (32 bits)
 - 4 inteiros empacotados em 128 bits
- Packed Integers-Quadword (64 bits)
 - 2 inteiros empacotados em 128 bits

AVX - Vetorial - Tipos de Dados

AVX

- Os mesmos tipos de dados do SSE e SSE2
- Porém, empacotados para:
 - 256 bits em AVX (AVX256)
 - 04 double (quadword/64bits)
 - 08 float (doubleword/32bits)
 - 04 int (quadword/64bits)
 - 08 int (doubleword/32bits)
 - 16 int (word/16bits)
 - 32 int (halfword/08bits)
 - 512 bits em AVX512

Observação:

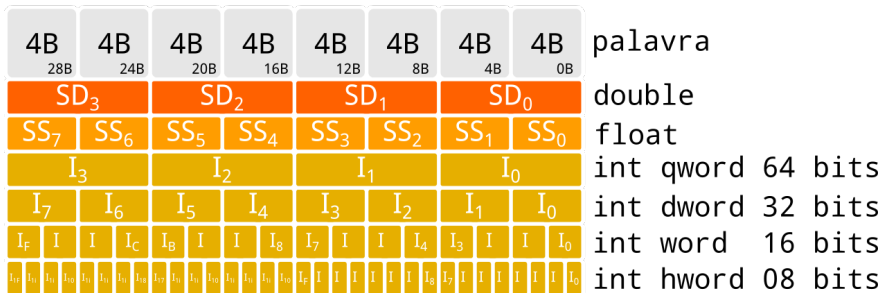
- Este material aborda apenas SSE2 e alguns pontos de AVX

Registradores

SSE2 e AVX

08 registradores $[y|x]mm_i$ em 32 bits

16 registradores $[y|x]mm_i$ em 64 bits



Instruções de Transferência

Packed-Integers

MOVD ou MOVQ

- Move Doubleword/Move Quadword

```
MOVD xmmi, reg32/mem32
```

```
MOVQ xmmi, reg64/mem64
```

```
MOVD reg32/mem32, xmmi
```

```
MOVQ reg64/mem64, xmmi
```

Copia 1-Packed ou 2-Packed inteiro(s)_{32bits} de reg para *xmm_i*;

Copia 1-Packed ou 2-Packed inteiro(s)_{32bits} de mem para *xmm_i*;

Copia 1-Packed ou 2-Packed inteiro(s)_{32bits} de *xmm_i* para reg

Copia 1-Packed ou 2-Packed inteiro(s)_{32bits} de *xmm_i* para mem

More Packed-Integers - Alinhado

MOVDQA

- Move Aligned Packed Integer Values

```
MOVDQA xmmi, xmmj|mem128
```

Copia 4-Packed inteiros_{32bits} de *xmmj* para *xmmi*

Copia 4-Packed inteiros_{32bits} de mem128 para *xmmi*

- Atenção à palavra mágica **Aligned**
 - mem128 deve estar alinhado em 16
isto é: endereço do byte inicial de mem128 % 16 = 0

section .data

```
align 16, db 0
```

section .bss

```
alignb 16
```

More Packed-Integers - Alinhado

MOVDQA (again?)

- Move Aligned Packed Integer Values

```
MOVDQA mem128, xmmi
```

Copia 4-Packed inteiros_{32bits} de *xmm_i* para mem128

- Atenção à palavra mágica **Aligned**
 - mem128 deve estar alinhado em 16

More Packed-Integers - Desalinhado

MOVDQU

- Move Unaligned Packed Integer Values

```
MOVDQU xmmi, xmmj|mem128  
MOVDQU mem128, xmmi
```

Copia 4-Packed inteiros_{32bits} de xmm_i para mem128

- Atenção à palavra mágica **Unaligned**
 - mem128 não requer alinhamento em 16
 - impacta negativamente no desempenho da transferência
 - Se está usando SSE, possivelmente quer desempenho, certo?

MORE Packed-Integers - Alinhado

VMOVDQA (AVX)

- Move Aligned Packed Integer Values

```
VMOVDQA ymmi, ymmj|mem256  
VMOVDQA mem256, ymmi
```

Copia 8-Packed inteiros_{32bits} de *ymm_j* para *ymm_i*

Copia 8-Packed inteiros_{32bits} de *mem256* para *ymm_i*

Copia 8-Packed inteiros_{32bits} de *ymm_i* para *mem256*

- Atenção à palavra mágica **Aligned**

- *mem256* deve estar alinhado em 32

isto é: endereço do byte inicial de *mem128* % 32 = 0

MORE Packed-Integers - Desalinhado

VMOVDQU (AVX)

- Move Unaligned Packed Integer Values

```
VMOVDQU ymmi, ymmj|mem256  
VMOVDQU mem256, ymmi
```

Copia 8-Packed inteiros_{32bits} de *ymmj* para *ymm_i*

Copia 8-Packed inteiros_{32bits} de *mem256* para *ymm_i*

Copia 8-Packed inteiros_{32bits} de *ymm_i* para *mem256*

- Atenção à palavra mágica **Unaligned**
 - *mem256* não requer alinhamento em 32
 - impacta negativamente no desempenho da transferência

Packed-Integers - Exemplo

a12e01.asm

```
34      ; 32bits
35      MOVD xmm1, [vetInt1] ; gdb_tip: p $xmm1.v4_int32
36
37      ; 2*32bits -> 64bits
38      MOVQ xmm2, [vetInt1] ; gdb_tip: p $xmm2.v4_int32
39
40      ; 4*32bits -> 128bits alinhado em 16
41      ; -> caso contrário, SIGSEGV!
42      MOVDQA xmm3, [vetInt1] ; gdb_tip: p $xmm3.v4_int32
```


Packed-Integers - Observação

As instruções apresentadas anteriormente também são utilizadas para copiar inteiros de tamanhos inferiores à 32 bits.

■ Exemplos

```
MOVD xmmi, mem32
```

Copia 1-Packed inteiro_{32bits} de reg para *xmm_i*;

Copia 2-Packed inteiros_{16bits} de reg para *xmm_i*;

Copia 4-Packed inteiros_{08bits} de reg para *xmm_i*;

```
VMOVDQA ymmi, mem256
```

Copia 4-Packed inteiros_{64bits} de reg para *ymm_i*;

Copia 8-Packed inteiros_{32bits} de reg para *ymm_i*;

Copia 16-Packed inteiros_{16bits} de reg para *ymm_i*;

Copia 32-Packed inteiros_{08bits} de reg para *ymm_i*;

2-Packed-SP

MOVLPS

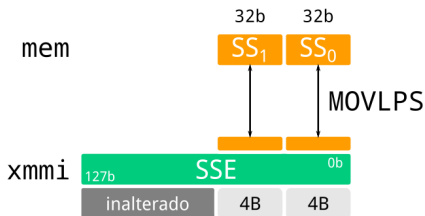
- Move Low Packed Single-Precision Floating-Point Values

```
MOVLPS xmmi, mem64
```

```
MOVLPS mem64, xmmi
```

Copia 2-Packed Single-Precision_{32bits} de mem64 para xmmi;

Copia 2-Packed Single-Precision_{32bits} de xmmi para mem64



4-Packed-SP - Alinhado₁₆

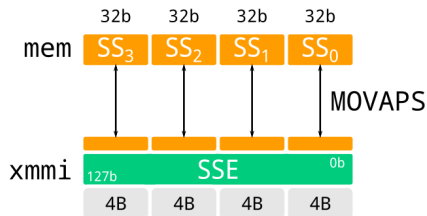
MOVAPS

- Move Aligned Packed Single-Precision Floating-Point Values

```
MOVAPS xmmi, mem128
```

```
MOVAPS mem128, xmmi
```

Copia 4-Packed Single-Precision_{32bits} de mem128 para *xmmi*;
Copia 4-Packed Single-Precision_{32bits} de *xmmi* para mem128



8-Packed-SP - Alinhado₃₂

VMOVAPS

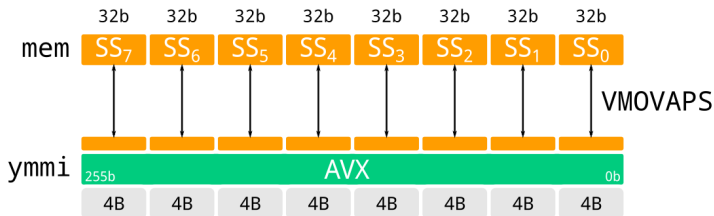
- Move Aligned Packed Single-Precision Floating-Point Values

```
VMOVAPS ymmi, mem256
```

```
VMOVAPS mem256, ymmi
```

Copia 8-Packed Single-Precision_{32bits} de mem256 para ymmi;

Copia 8-Packed Single-Precision_{32bits} de ymmi para mem256



4,8-Packed-SP - Desalinhado

MOVUPS

- Move Unaligned Packed Single-Precision Floating-Point Values

```
MOVUPS xmmi, mem128  
MOVUPS mem128, xmmi
```

Copia 4-Packed Single-Precision_{32bits} de mem128 para *xmmi*;

Copia 4-Packed Single-Precision_{32bits} de *xmmi* para mem128

VMOVUPS

- Move Unaligned Packed Single-Precision Floating-Point Values

```
VMOVUPS ymmi, mem256  
VMOVUPS mem256, ymmi
```

Copia 8-Packed Single-Precision_{32bits} de mem256 para *ymm*_{*i*};

Copia 8-Packed Single-Precision_{32bits} de *ymm*_{*i*} para mem256

2-Packed-DP - Alinhado₁₆

MOVAPD

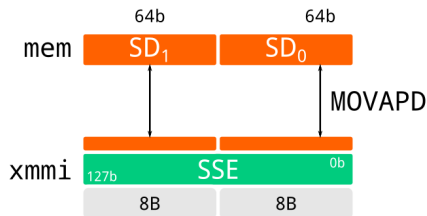
- Move Aligned Packed Double-Precision Floating-Point Values

```
MOVAPD xmmi, mem128
```

```
MOVAPD mem128, xmmi
```

Copia 2-Packed Double-Precision_{64bits} de mem128 para *xmmi*

Copia 2-Packed Double-Precision_{64bits} de *xmmi* para mem128



4-Packed-DP - Alinhado₃₂

VMOVAPD

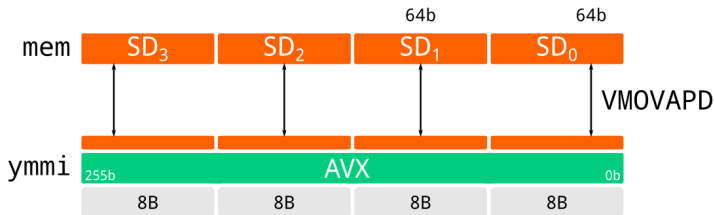
- Move Aligned Packed Double-Precision Floating-Point Values

```
VMOVAPD ymmi, mem256
```

```
VMOVAPD mem256, ymmi
```

Copia 4-Packed Double-Precision_{64bits} de mem256 para *ymm_i*

Copia 4-Packed Double-Precision_{64bits} de *ymm_i* para mem256



2,4-Packed-DP - Desalinhado

MOVUPD

- Move Unaligned Packed Double-Precision Floating-Point Values

```
MOVUPD xmmi, mem128  
MOVUPD mem128, xmmi
```

Copia 2-Packed Double-Precision_{64bits} de mem128 para *xmm_i*;

Copia 2-Packed Double-Precision_{64bits} de *xmm_i* para mem128

VMOVUPD

- Move Unaligned Packed Double-Precision Floating-Point Values

```
VMOVUPD ymmi, mem256  
VMOVUPD mem256, ymmi
```

Copia 4-Packed Double-Precision_{64bits} de mem256 para *ymm_i*;

Copia 4-Packed Double-Precision_{64bits} de *ymm_i* para mem256

Packed-SP e DP - Exemplo

a12e02.asm

```
34 ; ===== FLOAT =====
35 ; Transferência FLOAT mem -> xmm =====
36 ; 2*32bits -> 64bits
37 MOVLPS xmm1, [vetFloat1] ; gdb_tip: p $xmm1.v4_float
38
39 ; 4*32bits -> 128bits
40 MOVAPS xmm2, [vetFloat1] ; gdb_tip: p $xmm2.v4_float
41
42 ; 8*32bits -> 256bits
43 VMOVAPS ymm3, [vetFloat1] ; gdb_tip: p $ymm3.v8_float
44
45 ; Transferência FLOAT xmm -> mem =====
46 ; 2*32bits -> 64bits
47 MOVLPS [vetRFloat2], xmm1 ; gdb_tip: x /2f &vetRFloat2
```

Instruções de Conversão Inteiro para FP

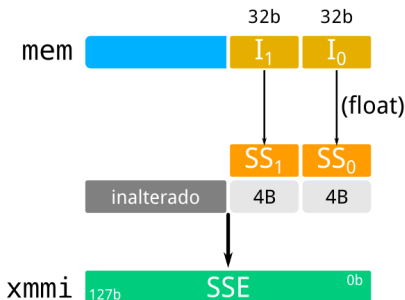
Conversão de Packed-Integer para FP-Single

CVTPI2PS

- Convert Packed-DWord Integers to Packed Single-Precision

```
CVTPI2PS xmmi, mem64
```

Converte 2 inteiros sinalizado (32 bits) para 2 FP (32 bits)
hxmm_i inalterado



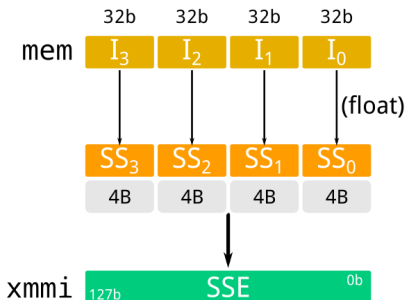
Conversão de Packed-Integer para FP-Single

VCVTDQ2PS (SSE)

- Convert Packed-DWord Integers to Packed Single-Precision

```
VCVTDQ2PS xmmi, mem128
```

Converte 4 inteiros sinalizado (32 bits) para 4 FP (32 bits)



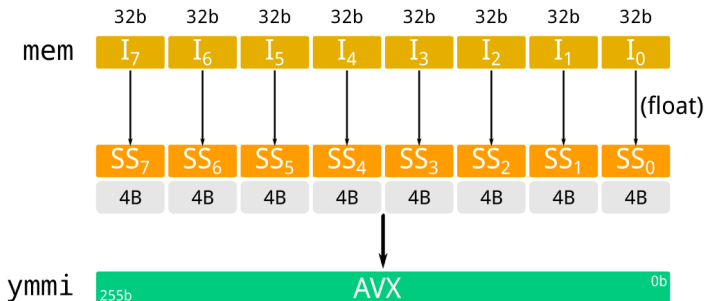
Conversão de Packed-Integer para FP-Single

VCVTDQ2PS (AVX)

- Convert Packed-DWord Integers to Packed Single-Precision

```
VCVTDQ2PS ymmi, mem256
```

Converte 8 inteiros sinalizado (32 bits) para 8 FP (32 bits)



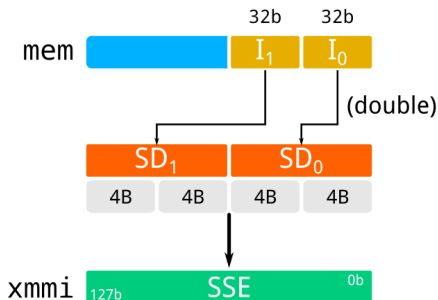
Conversão de Packed-Integer para FP-Double

CVTPI2PD

- Convert Packed-DWord Integers to Packed Double-Precision

```
CVTPI2PD xmmi, mem64
```

Converte 2 inteiros sinalizado (32 bits) para 2 FP (64 bits)



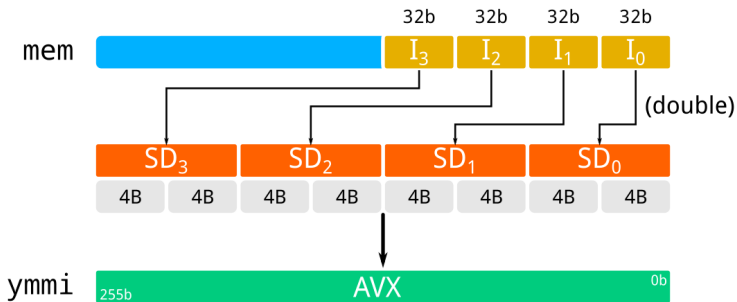
Conversão de Packed-Integer para FP-Double

CVTPI2PD (AVX)

- Convert Packed-DWord Integers to Packed Double-Precision

```
CVTPI2PD ymmi, mem128
```

Converte 4 inteiros sinalizado (32 bits) para 4 FP (64 bits)



Conversão de FP-Single para Packed-Integer

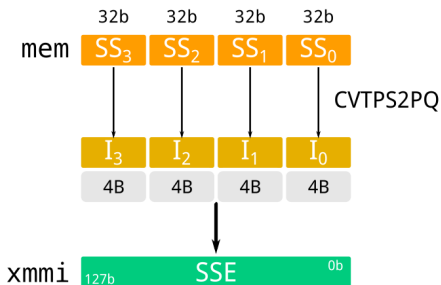
CVTPS2DQ / VCVTPS2DQ

- Convert Packed Single-Precision Floating-Point Values to Packed Signed Doubleword Integer

`CVTPS2DQ xmmi, xmmj|mem128 ; SSE 4 FP`

`VCVTPS2DQ ymmi, ymmj|mem256 ; AVX 8 FP`

Converte 4/8 FP (32 bits) para 4/8 inteiros sinalizado (32 bits)



Conversão de FP-Double para Packed-Integer

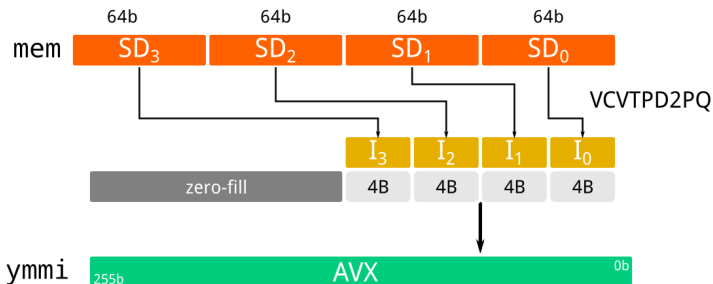
CVTPD2DQ / VCVTPD2DQ

- Convert Packed Double-Precision Floating-Point Values to Packed Signed Doubleword Integer

```
CVTPD2DQ  xmmi, xmmj|mem128 ; SSE 2 FP
```

```
VCVTPD2DQ xmmi, ymmj|mem256 ; AVX 4 FP
```

Converte 2/4 FP (64 bits) para 2/4 inteiros sinalizado (32 bits)



Conversão de FP-Single para FP-Double

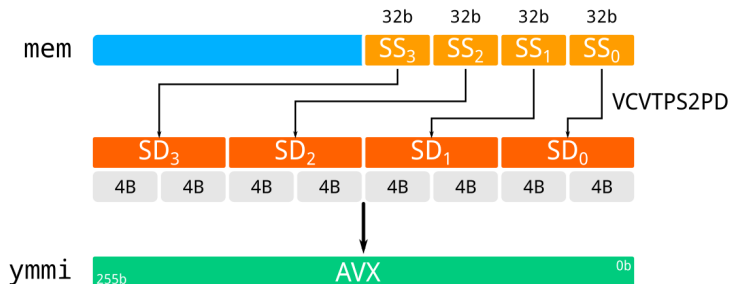
CVTPS2PD

- Convert Packed Single-Precision Floating-Point Values to Packed Double-Precision Floating-Point

```
CVTPS2PD xmmi, xmmj|mem64 ; SSE 2 FP
```

```
VCVTPS2PD ymmi, xmmj|mem128 ; AVX 4 FP
```

Converte 2/4 FP (32 bits) para 2/4 FP (64 bits)



Conversão de FP-Double para FP-Single

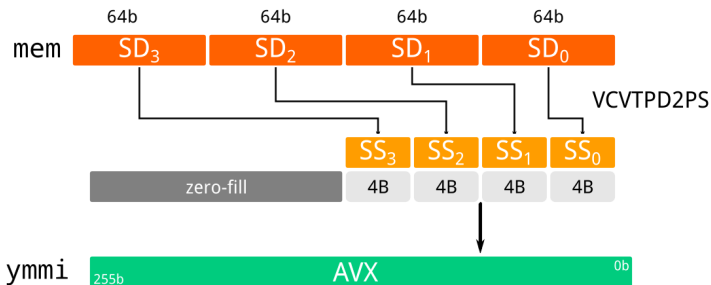
CVTPD2PS

- Convert Packed Double-Precision Floating-Point Values to Packed Single-Precision Floating-Point

```
CVTPD2PS  xmmi, xmmj|mem128 ; SSE 2 FP
```

```
VCVTPD2PS ymmi, xmmj|mem256 ; AVX 4 FP
```

Converte 2/4 FP (64 bits) para 2/4 FP (32 bits)



Conversão Integer, FP-Single e FP-Double - Exemplo

a12e03.asm

```
26      ; converter 2 inteiros 32 bits cada para 2 FP single
27      CVTPI2PS xmm1, [vetInt1] ; gdb_tip: p $xmm1.v4_float
28
29      ; converter 4 inteiros 32 bits cada para 4 FP single
30      VCVTDQ2PS xmm2, [vetInt1]
31
32      ; converter 8 inteiros 32 bits cada para 8 FP single
33      VCVTDQ2PS ymm3, [vetInt1] ; gdb_tip: p $ymm3.v8_float
34
35      ; converter 2 inteiros 32 bits cada para 2 FP double
36      CVTPI2PD xmm4, [vetInt1] ; gdb_tip: p $xmm4.v2_double
```

Instruções Aritméticas

Aritmética de Inteiros

PADDB / PADDW / PADDD / PADDQ

- Add Packed Integers

```
PADDB xmmi, xmmj|mem128 ; 16 inteiros de 08 bits
```

```
PADDW xmmi, xmmj|mem128 ; 08 inteiros de 16 bits
```

```
PADDD xmmi, xmmj|mem128 ; 04 inteiros de 32 bits
```

```
PADDQ xmmi, xmmj|mem128 ; 02 inteiros de 64 bits
```

Executa operação SIMD de adição sobre os operandos

Aritmética de Inteiros

PSUBB / PSUBW / PSUBD / PSUBQ

- Subtract Packed Integers

```
PSUBB xmmi, xmmj|mem128 ; 16 inteiros de 08 bits
```

```
PSUBW xmmi, xmmj|mem128 ; 08 inteiros de 16 bits
```

```
PSUBD xmmi, xmmj|mem128 ; 04 inteiros de 32 bits
```

```
PSUBQ xmmi, xmmj|mem128 ; 02 inteiros de 64 bits
```

Executa operação SIMD de subtração sobre os operandos

Aritmética de Inteiros

PSUBB / PSUBW / PSUBD / PSUBQ

- Subtract Packed Integers

```
PSUBB xmmi, xmmj|mem128 ; 16 inteiros de 08 bits
```

```
PSUBW xmmi, xmmj|mem128 ; 08 inteiros de 16 bits
```

```
PSUBD xmmi, xmmj|mem128 ; 04 inteiros de 32 bits
```

```
PSUBQ xmmi, xmmj|mem128 ; 02 inteiros de 64 bits
```

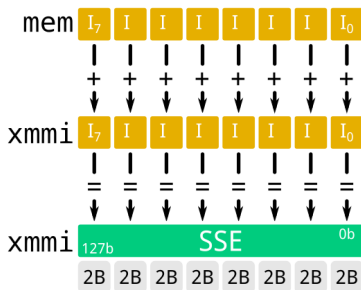
Executa operação SIMD de subtração sobre os operandos

Aritmética de Inteiros - Exemplos ADD/SUB

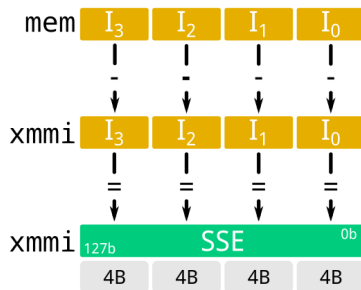
PADDW xmmi, mem128 ; 08 inteiros de 16 bits

PSUBD xmmi, mem128 ; 04 inteiros de 32 bits

PADDW:



PSUBD:



Aritmética de Inteiros

PMULDQ / PMULUDQ

■ Multiply Packed Doubleword Integers

; 2 ints sinalizados de 32 bits

```
PMULDQ xmmi, xmmj|mem128
```

; 2 ints não-sinalizados de 32 bits

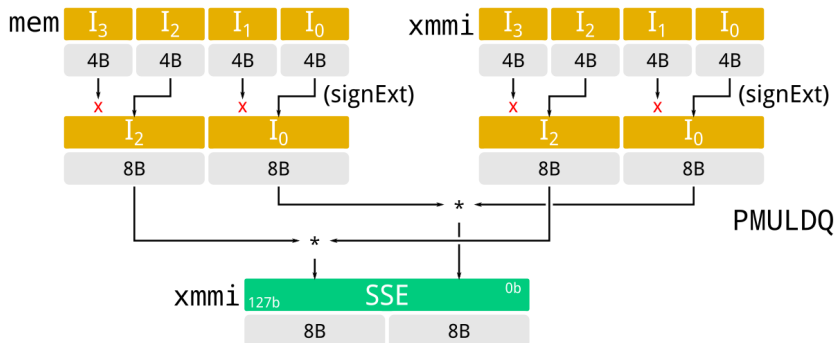
```
PMULUDQ xmmi, xmmj|mem128
```

Executa operação SIMD de multiplicação sobre os operandos

Contém *caveat*

Aritmética de Inteiros - caveat da Multiplicação

- I_0 e I_2
 - Operandos_{32bits} são estendidos para Operandos_{64bits}
 - I_1 e I_3 são destruídos em registrador *xmmi*



Aritmética de Inteiros - Exemplo

a12e04.asm

```
32 ; 4-Packed ADD / SUB =====
33 MOVDQA xmm1, [vetInt1]
34 MOVDQA xmm2, [vetInt2]
35
36 ; vetIntADD432 = vetInt1 + vetInt2
37 PADDQ xmm1, xmm2
38 MOVDQA [vetIntADD432], xmm1 ; gdb-tip: x /4d &vetIntADD432
39
40 ; vetIntSUB432 = vetInt1 - vetInt2
41 MOVDQA xmm1, [vetInt1]
42 PSUBQ xmm1, xmm2
43 MOVDQA [vetIntSUB432], xmm1 ; gdb-tip: x /4d &vetIntSUB432
```

Aritmética de SP

ADDPS / VADDPS

- Add Packed Single-Precision Floating-Point

```
ADDPS  xmmi, xmmj | mem128 ; 04 SP  
VADDPS ymmi, ymmj | mem256 ; 08 SP
```

Executa operação SIMD de adição sobre os operandos SP

SUBPS / VSUBPS

- Subtract Packed Single-Precision Floating-Point

```
SUBPS  xmmi, xmmj | mem128 ; 04 SP  
VSUBPS ymmi, ymmj | mem256 ; 08 SP
```

Executa operação SIMD de subtração sobre os operandos SP

Aritmética de SP

DIVPS / VDIVPS

- Divide Packed Single-Precision Floating-Point

```
DIVPS   xmmi, xmmj|mem128 ; 04 SP  
VDIVPS  ymmi, ymmj|mem256 ; 08 SP
```

Executa operação SIMD de divisão sobre os operandos SP

MULPS / VMULPS

- Multiply Packed Single-Precision Floating-Point

```
MULPS   xmmi, xmmj|mem128 ; 04 SP  
VMULPS  ymmi, ymmj|mem256 ; 08 SP
```

Executa operação SIMD de multiplicação sobre os operandos SP

Aritmética de DP

ADDPD / VADDPD

- Add Packed Double-Precision Floating-Point

```
ADDPD  xmmi, xmmj|mem128 ; 02 DP  
VADDPD ymmi, ymmj|mem256 ; 04 DP
```

Executa operação SIMD de adição sobre os operandos DP

SUBPD / VSUBPD

- Subtract Packed Double-Precision Floating-Point

```
SUBPD  xmmi, xmmj|mem128 ; 02 DP  
VSUBPD ymmi, ymmj|mem256 ; 04 DP
```

Executa operação SIMD de subtração sobre os operandos DP

Aritmética de DP

DIVPD / VDIVPD

- Divide Packed Double-Precision Floating-Point

```
DIVPD  xmmi, xmmj|mem128 ; 02 DP  
VDIVPD ymmi, ymmj|mem256 ; 04 DP
```

Executa operação SIMD de divisão sobre os operandos DP

MULPD / VMULPD

- Multiply Packed Double-Precision Floating-Point

```
MULPD  xmmi, xmmj|mem128 ; 02 DP  
VMULPD ymmi, ymmj|mem256 ; 04 DP
```

Executa operação SIMD de multiplicação sobre os operandos DP

Aritmética de SP e DP - Exemplo

A12e05.asm

```
32 ; 4-Packed ADD / MUL SP =====
33 MOVAPS xmm0, [vetSP1]
34 ADDPS xmm0, [vetSP2] ; gdb-tip: p $xmm0.v4_float
35
36 MOVAPS xmm1, [vetSP1]
37 MULPS xmm1, [vetSP2] ; gdb-tip: p $xmm1.v4_float
38
39
40 ; 4-Packed SUB / DIV DP =====
41 VMOVAPS ymm2, [vetDP1]
42 VSUBPD ymm2, [vetDP2] ; gdb-tip: p $ymm2.v4_double
43
44 VMOVAPS ymm3, [vetDP1]
45 VDIVPD ymm3, [vetDP2] ; gdb-tip: p $ymm3.v4_double
```

Outras Instruções

Algumas instruções que podem ser uteis no futuro - I

VZEROALL / VZEROUPPER (AVX)

- Zero XMM, YMM and ZMM Registers
- Zero Upper Bits of YMM and ZMM Registers

VZEROALL ; *zero-fill registradores*

VZEROUPPER ; *zero-fill ($i \geq 128$) bits de registradore*

Algumas instruções que podem ser uteis no futuro - II

HADDPS / HADDPD (SSE3)

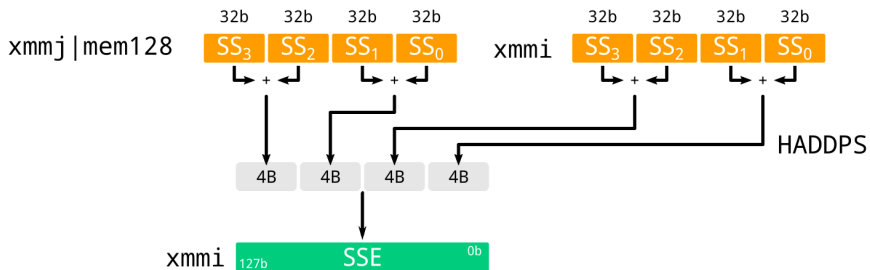
- Packed Single-FP Horizontal Add
- Packed Double-FP Horizontal Add

```
HADDPS xmm1, xmm2/m128 ; 4 SP
```

```
HADDPD xmm1, xmm2/m128 ; 2 DP
```

Não é tão simples quanto uma redução!

HADDPS (SSE3)



Atividades

AT1201

TO-DO!