Linguagens de Montagem

Ponto-Flutuante
Aula 11

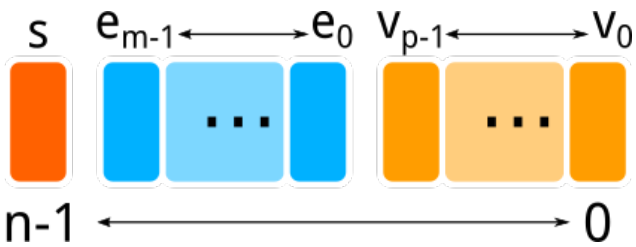
Edmar André Bellorini

Ano letivo 2022

Introdução

Introdução

- Ponto-Flutuante (*Floating-Point* - FP)
  - Formato binário para representação de números reais
  - Notação científica
    $\pm v * B^{\pm e}$



onde:

- `v`: significando (termo *mantissa* é depreciado)
- `B`: base numérica, sendo 2 em FP
- `e`: expoente
- $\pm$:0 positivo; 1 negativo

Introdução - Padrões IEEE-754

- IEEE-754 de precisão simples
  - float

  - $3{,}1415_d \approx 0\ 10000000\ 10010010000111001010110_{ieee32}$

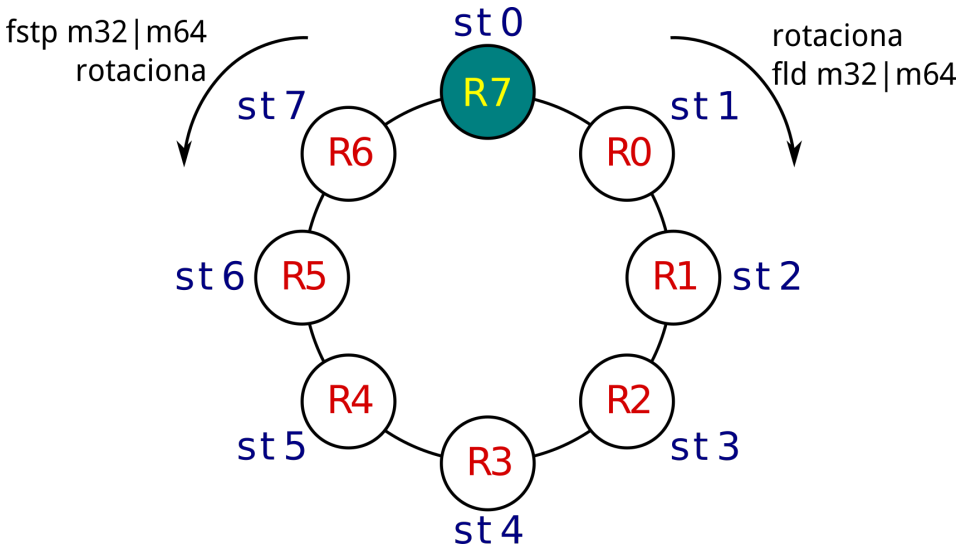
- IEEE-754 de precisão dupla
  - double

  - $-3{,}1415_d \approx 1\ 10000000000\ 1001001000011100101011000000100...$
    $...0001100010010011011111_{ieee64}$

do you wanna some fun? click here! or here! another one?!

Hardware x86_64 de 1ª Geração

- FPU: início da década de 1980
  - Projeto com ênfase na notação polonesa reversa (RPN)
  - Pilha de Registradores FPU (st_i)



  - Instruções unárias, com operando destino implícito

```
FADD [TO] st[1-7]/mem32/mem64/mem80
```

  - Concorrência de recursos com MMX (final de 1990)
    Quer saber mais sobre FPU?

Hardware x86_64 de 2ª Geração

- SSE: final da década de 1990
  - Streaming SIMD Extensions
    Single Instruction, Multiple Data - by Flynn
  - Evolução do MMX
  - Várias interações, sendo SSE4 a mais atual, seguido da AVX
  - Projeto com ênfase em registradores *thanks to the engineering God!*
  - Instruções são binárias, isto é, operandos fonte e destino
  - Instruções Escalares e Vetoriais para Inteiros e FP
  - 16 Registradores de propósito específico (Escalar/Vetorial)
    *xmm*0 até *xmm*15
    de 128 bits cada um
  - É o padrão para operações em FP na arquitetura x86_64

Hardware x86_64 de 3ª Geração

- AVX: início da década de 2010
  - Advanced Vector Extensions
  - Evolução do SSE
    Adiciona instruções ternárias com destino, fonte, fonte
    Adiciona instruções vetorias com mais inteiros (AVX2)
    Aumenta o tamanho de cada registrador para 256bits
    (ou 512bits no AVX512)
  - Registradores *ymm*0 até *ymm*15
    Registradores SSE xmm são registradores AVX ymm
    Semelhante ao que acontece com Regs de Propósito Geral

Observação sobre esta aula

- Apresentação dos conceitos relacionados com FP
- Operações Escalares
  - Instruções de Conversão
  - Instruções de Transferência
  - Instruções Aritméticas
  - Instruções de Comparação
- Conceitos sobre SSE vetorial **não** serão discutidos
  - Na próxima aula (possivelmente)
- Suporte à SSE e/ou AVX em Linux/Terminal

```
lshw -c cpu
```

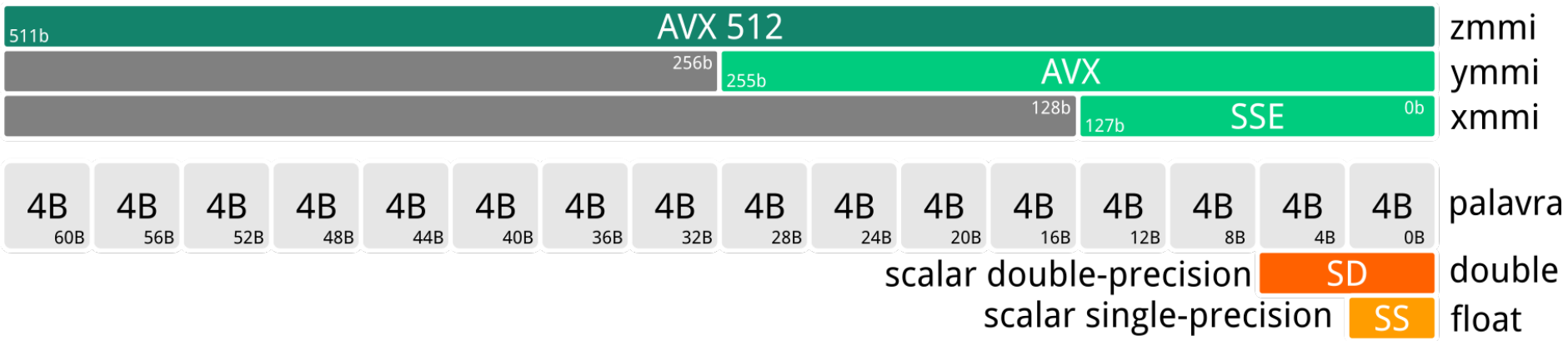
em `capacidades`, procure por SSE e/ou AVX

Registradores

Registradores de Propósito Específicos (FP)

- `xmm0` até `xmm15`
- Operações escalares em FP
- `Instrução` determina o tamanho da palavra
  - Palavra com Precisão Simples - 32 bits
    modificador `s` (single)
  - Palavra com Precisão Dupla - 64 bits
    modificador `d` (double)
- Passagem de parâmetros
  `xmm0` até `xmm7`
  Lembram do `xor rax,rax` para printf?
- Temporários (caller-saved)
  `xmm8` até `xmm15`
- Retorno FP de função em `xmm0`

Registradores de Propósito Específicos (FP)



Instruções de Conversão

Conversão de Inteiro para FP

`CVTSI2SS`

- Convert Signed Integer to Scalar Single-Precision

```
CVTSI2SS xmmi, r32|r64|mem32|mem64
```

Converte um inteiro sinalizado (32 ou 64 bits) para FP (32 bits)

`CVTSI2SD`

- Convert Signed Integer to Scalar Double-Precision

```
CVTSI2SD xmmi, r32|r64|mem32|mem64
```

Converte um inteiro sinalizado (32 ou 64 bits) para FP (64 bits)

Conversão de FP para Inteiro

`CVTSS2SI`

- Convert Scalar Single-Precision to Signed Integer

```
    CVTSS2SI r32|r64, xmmi|mem32
```

Arredonda um FP (32 bits) para Inteiro sinalizado de 32 ou 64 bits

`CVTSD2SI`

- Convert Scalar Double-Precision to Signed Integer

```
    CVTSD2SI r32|r64, xmmi|mem64
```

Arredonda um FP (64 bits) para Inteiro sinalizado de 32 ou 64 bits

Conversão entre FP Single e Double

`CVTSS2SD`

- Convert Scalar Single-Precision to Scalar Double-Precision

```
CVTSS2SD xmmi, xmmj|mem32
```

Converte um FP (32 bits) para FP (64 bits)

`CVTSD2SS`

- Convert Scalar Double-Precision to Scalar Single-Precision

```
CVTSD2SS xmmi, xmmj|mem64
```

Converte um PF (64 bits) para FP (32 bits)

Instruções de Transferência

Transferência de FP

`MOVSS`

- Move Scalar Single-Precision

```
MOVSS xmmi, xmmj|mem32
MOVSS mem32, xmmi
```

Move um FP (32 bits) entre xmmi e mem32

`MOVSD`

- Move Scalar Double-Precision

```
MOVSD xmmi, xmmj|mem64
MOVSD mem64, xmmi
```

Move um FP (64 bits) entre xmmi e mem64

Exemplo a11e01.asm: Conversão entre INT e FP

```
47 l1:
48     ; eax = printf("Inteiro %d convertido para float = %f\n",
49     mov rax, 1 ; existe um FP a ser impresso e já está em xmm0
50     mov rdi, pfstr2
51     mov esi, [inteiro1]
52     ; notas sobre printf e FP
53     ;       printf destroi xmmi após chamada, opcional: salvar
54     MOVSS [float1], xmm0 ; salva FP em float1
55     ;       considera %f como double, necessário converter SS
56     CVTSS2SD xmm0, xmm0 ; float 2 double 4 printf
57     call printf
```

Exemplo a11e01.asm - GDB

```
b l1
b l2
b l3
b fim
r       ; executar
Digite um Inteiro: <42>; entrada do usuario
p (int) inteiro1        ; inteiro em memoria
p $xmm0                 ; lista de float/double de xmm0
c
p (float) float1        ; float xmm0 em memoria
c
Inteiro 42 convertido para double = 42.000000
p $xmm0                 ; valor foi destruido por printf
...
```

Instruções Aritméticas

Adição Escalar - ADDS$_{size}$

`ADDSS`

- ADD Scalar Single-Precision

```
ADDSS xmmi, xmmj|mem32
```

$xmmi = xmmi + xmmj|mem32$

```
VADDSS xmmi, xmmj, xmmk|mem32
```

$xmmi = xmmj + xmmk|mem32$

`ADDSD`

- ADD Scalar Double-Precision

```
ADDSD xmmi, xmmj|mem64
VADDSD xmmi, xmmj, xmmk|mem64
```

Subtração Escalar - $SUBS_{size}$

SUBSS

- SUB Scalar Single-Precision

```
SUBSS xmmi, xmmj|mem32
```

$xmmi = xmmi - xmmj|mem32$

```
VSUBSS xmmi, xmmj, xmmk|mem32
```

$xmmi = xmmj - xmmk|mem32$

SUBSD

- SUB Scalar Double-Precision

```
SUBSD xmmi, xmmj|mem64
VSUBSD xmmi, xmmj, xmmk|mem64
```

Multiplicação Escalar - MULS$_{size}$

`MULSS`

- MUL Scalar Single-Precision

```
MULSS xmmi, xmmj|mem32
```

$xmmi = xmmi * xmmj|mem32$

```
VMULSS xmmi, xmmj, xmmk|mem32
```

$xmmi = xmmj * xmmk|mem32$

`MULSD`

- MUL Scalar Double-Precision

```
MULSD xmmi, xmmj|mem64
VMULSD xmmi, xmmj, xmmk|mem64
```

Divisão Escalar - $DIVS_{size}$

`DIVSS`

- DIV Scalar Single-Precision

```
DIVSS xmmi, xmmj|mem32
```

$xmmi = xmmi/xmmj|mem32$

```
VDIVSS xmmi, xmmj, xmmk|mem32
```

$xmmi = xmmj/xmmk|mem32$

`DIVSD`

- DIV Scalar Double-Precision

```
DIVSD xmmi, xmmj|mem64
VDIVSD xmmi, xmmj, xmmk|mem64
```

Raiz Quadrada Escalar - SQRTS_{size}

`SQRTSS`

- SQRT Scalar Single-Precision

```
SQRTSS xmmi, xmmj|mem32
```

$xmmi = \sqrt{xmmj|mem32}$

`SQRTSD`

- SQRT Scalar Double-Precision

```
SQRTSD xmmi, xmmj|mem64
```

$xmmi = \sqrt{xmmj|mem64}$

Exemplo a11e02.asm: distância entre 2 pontos 3D

```
66      ; xmm0 = (x1 - x2)^2
67      subsd xmm0, xmm3    ; (x1 - x2)
68      mulsd xmm0, xmm0    ; ^2
69
70      ; xmm1 = (y1 - y2)^2
71      subsd xmm1, xmm4    ; (y1 - y2)
72      mulsd xmm1, xmm1    ; ^2
73
74      ; xmm2 = (z1 - z2)^2
75      subsd xmm2, xmm5    ; (z1 - z2)
76      mulsd xmm2, xmm2    ; ^2
77
78      ; adição das 3 diferencas ao quadrado
79      addsd xmm0, xmm1
80      addsd xmm0, xmm2
81
82      ; raiz quadrada em xmm0
83      sqrtsd xmm0, xmm0
```

Instruções Lógicas

AND vetorial* - ANDP$_{size}$

`ANDPS`

- Bitwise AND of Packed Single-Precision

```
ANDPS xmmi, xmmj|mem128
```

$xmmi = xmmi \wedge (xmmj|mem128)$

```
VANDPS xmmi, xmmj, xmmk|mem128
```

$xmmi = xmmj \wedge (xmmk|mem128)$

`ANDPD`

- Bitwise AND of Packed Double-Precision

```
ANDPD xmmi, xmmj|mem128
VANDPD xmmi, xmmj, xmmk|mem128
```

OR vetorial* - ORP_{size}

`ORPS`

- Bitwise OR of Packed Single-Precision

```
ORPS xmmi, xmmj|mem128
```

$xmmi = xmmi \vee (xmmj|mem128)$

```
VORPS xmmi, xmmj, xmmk|mem128
```

$xmmi = xmmj \vee (xmmk|mem128)$

`ORPD`

- Bitwise OR of Packed Double-Precision

```
ORPD xmmi, xmmj|mem128
VORPD xmmi, xmmj, xmmk|mem128
```

XOR vetorial* - XORP$_{size}$

XORPS

- Bitwise XOR of Packed Single-Precision

```
XORPS xmmi, xmmj|mem128
```

$xmmi = xmmi \oplus xmmj|mem128)$

```
VXORPS xmmi, xmmj, xmmk|mem128
```

$xmmi = xmmj \oplus xmmk|mem128)$

XORPD

- Bitwise XOR of Packed Double-Precision

```
XORPD xmmi, xmmj|mem128
VXORPD xmmi, xmmj, xmmk|mem128
```

Instruções Comparativas

Máximo Escalar - $MAXS_{size}$

`MAXSS`

- Maximum Scalar Single-Precision

```
MAXSS xmmi, xmmj|mem32
```

$xmmi = MAX(xmmi, xmmj|mem32)$

```
VMAXSS xmmi, xmmj, xmmk|mem32
```

$xmmi = MAX(xmmj, xmmk|mem32)$

`MAXSD`

- Maximum Scalar Double-Precision

```
MAXSD xmmi, xmmj|mem64
VMAXSD xmmi, xmmj, xmmk|mem64
```

Mínimo Escalar - $MINS_{size}$

`MINSS`

- Minimum Scalar Single-Precision

```
MINSS xmmi, xmmj|mem32
```

$xmmi = MIN(xmmi, xmmj|mem32)$

```
VMINSS xmmi, xmmj, xmmk|mem32
```

$xmmi = MIN(xmmj, xmmk|mem32)$

`MINSD`

- Minimum Scalar Double-Precision

```
MINSD xmmi, xmmj|mem64
VMINSD xmmi, xmmj, xmmk|mem64
```

Exemplo a11e03.asm: float abs(float f)

```
75      ; absf?
76          ; xmm2 = (float) 0
77          ; xmm1 = xmm2 - xmm0
78          ; max(xmm0, (0-xmm1))
79      XORPS  xmm2, xmm2          ; xmm2 = (float) 0
80      VSUBSS xmm1, xmm2, xmm0 ; xmm1 = xmm2 - xmm0
81      MAXSS xmm0, xmm1           ; max(xmm0, (0-xmm1))
```

Comparar Escalar - COMIS$_{size}$

`COMISS`

- Compare Scalar Ordered Single-Precision

```
COMISS xmmi, xmmj|mem32
```

Compara xmmi com xmmj|m32 e ajusta EFLAGS
Veja tabela no próximo slide

`COMISD`

- Compare Scalar Ordered Double-Precision

```
COMISD xmmi, xmmj|mem64
```

Compara xmmi com xmmj|m64 e ajusta EFLAGS

Comparar Escalar - COMIS$_{size}$

Tabela de *Jcc* e ordem de utilização:

Ordem	CMP Op_1, Op_2	ZP PF CF	Jcc	ZF PF CF	Descrição
1	UNORDERED	1 1 1	JP	X 1 X	Op_i é NAN
2	EQUAL	1 0 0	JE	1 X X	$Op_2 == Op_1$
3	GREATER	0 0 0	JA	0 X 0	$Op_2 > Op_1$
4	LESS	0 0 1	JB	X X 1	$Op_2 < Op_1$

Exemplo a11e04.asm: Comparação entre FPs

```
46      movss xmm0, [scfF1]
47      movss xmm1, [scfF2]
48
49      lif1:
50      COMISS xmm0, xmm1
51      JP lerro     ; para teste, trocar para NJP
52      JE liguais   ; xmm1 == xmm0?
53      JA lmaior    ; xmm1 < xmm0?
54      JB lmenor    ; xmm1 > xmm0?
```

Atividades

AT1101

Função dis3Dlm

- Cálculo de distância entre 2 pontos
  - Pontos com 3 coordenadas
- Assinatura da Função dis3Dlm:

```
double dis3Dlm(int p1[], int p2[]){...}
```

- Dicas:
  - Adaptação do exemplo a11e02.asm

AT1102

Função potência para FP Single-Precision

- Criar um código que leia um float (base) e um inteiro (exp)
- Execute a função:

```
float powlm(float base, int exp){...}
```

- Dicas:
  - Diversos exemplos desta aula contém leitura de FP e INT
  - Parâmetros via registrador `xmmi` e `REGs`
  - Retorno em `xmm0`
  - `printf` só imprime double