"As invenções são, sobretudo, o resultado de um trabalho teimoso" (Santos Dumont).

Endianness

Paulo Ricardo Lisboa de Almeida

DSBD

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Relembrando

Valores mais e menos significativos.

Considere o seguinte exemplo em decimal:

$$789_{10} = 7 \times 10^2 + 8 \times 10^1 + 9 \times 10^0$$

O número 7 no exemplo é multiplicado pela maior potência no polinômio.

Tem o “maior impacto” no número.

Dígito **mais significativo.**

O 9 é o valor multiplicado pela menor potência.

Têm o “menor impacto” no número.

Dígito **menos significativo.**

Relembrando

Podemos estender o raciocínio para qualquer base numérica.

Exemplo em binário:

$$11001001_2 = 1x2^7 + 1x2^6 + 0x2^5 + 0x2^4 + 1x2^3 + 0x2^2 + 0x2^1 + 1x2^0$$

Bit mais significativo

Bit menos significativo

Byte mais significativo

Considere o seguinte valor binário representado na memória.

$$\underbrace{0100001111001001_2}_{\text{16 bits}} = 0x2^{15} + 1x2^{14} + 0x2^{13} + \ldots + 0x2^{1} + 1x2^{0}$$

Boa parte das memórias são **endereçadas a byte.**

É necessário separar o valor em 2 bytes.

$$\underbrace{01000011}_{\text{8 bits}}\ \underbrace{11001001}_{\text{8 bits}}$$

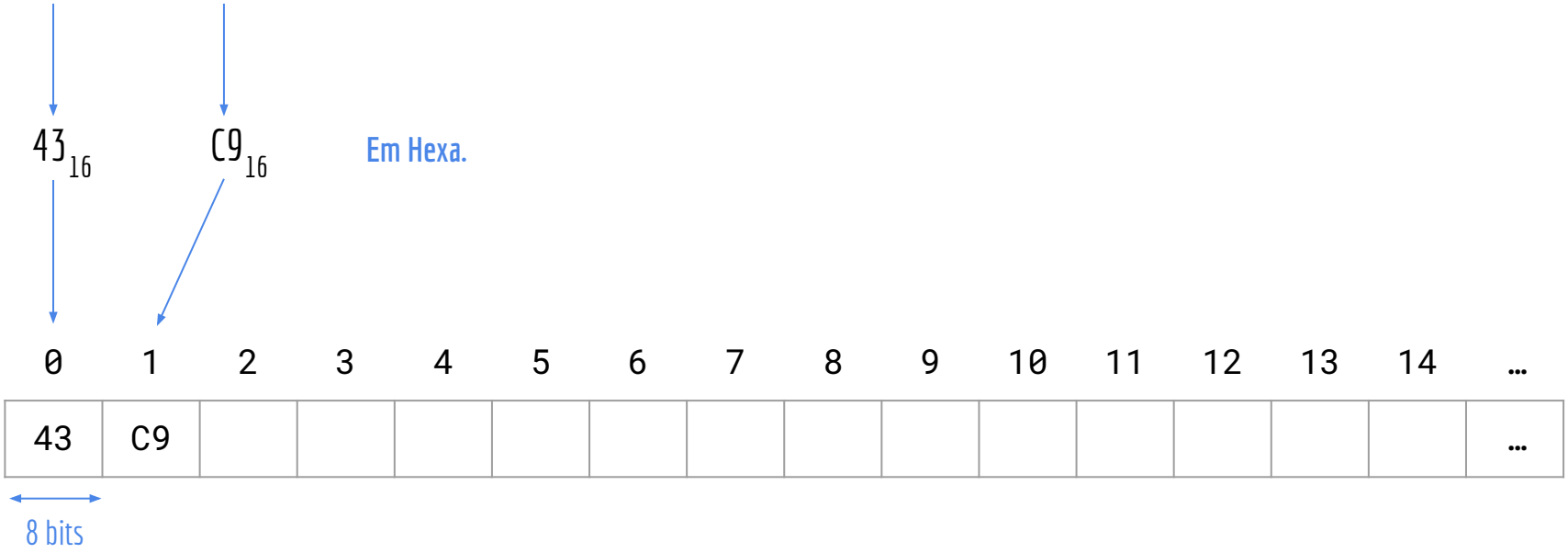
Byte mais significativo

Aplicando ideia de valor mais significativo a nível de byte.

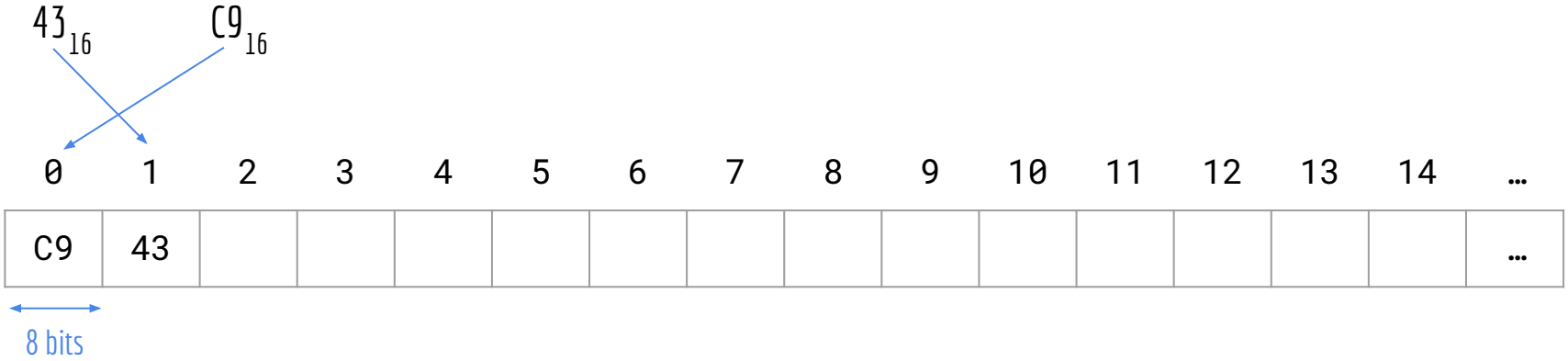
Big-Endian

Na Memória:

01000011_2 11001001_2



Little-Endian



Podemos escrever os bytes na ordem inversa na memória. Essa forma é chamada de **Little-Endian.**

Little-Endian: O byte menos significativo está no endereço de memória mais baixo.

Máquinas Little-Endian e Big-Endian

Máquinas little-endian:

x86-64.

Máquinas big-endian:

Motorola 680x0, Sun SPARC.

Máquinas bi-endian (exemplo: O Sistema operacional escolhe o endianess):

MIPS, ARM, PowerPC, IA-64 (Intel Itanium).

Importância

Qual a importância de conhecer esse conceito?

Importância

Qual a importância de conhecer esse conceito?

Ao transferir um dado de uma arquitetura big-endian para uma little-endian, devemos levar o *endianess* em consideração.

Arquiteturas big/little-endian têm vantagens e desvantagens.

Big-Endian

Vantagens do big-endian?

Big-Endian

Vantagens do big-endian?

- É mais simples (para nós humanos) entender o valor armazenado.
- Strings e inteiros (por exemplo) são armazenados na mesma ordem, podendo otimizar comparadores. Exemplo:

```
int meuInteiro = 0xAABBCC00;
char meuVetor[4] = {0xAA,0xBB,0xCC,0x00};
```

Little-Endian

Vantagens do little-endian?

Considere o seguinte código C.

Considere que inteiros ocupam 4 bytes na memória, e chars ocupam 1 byte.

```c
int  main(){
     int meuInt = 0x00000061;//código da letra ‘a’ em hexa
     char meuChar = (char)meuInt;//fazer um cast para pegar o byte mais baixo

     printf("%c", meuChar);//vai imprimir a letra 'a' (código 61 hexa ASCII)
     return 0;
}
```

Little-Endian

```c
int  main(){
     int meuInt = 0x00000061;//código da letra ‘a’ em hexa
     char meuChar = (char)meuInt;//fazer um cast para pegar o byte mais baixo

     printf("%c", meuChar);//vai imprimir a letra 'a' (código 61 ASCII)
     return 0;
}
```

meuInt na Memória

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	…
Big-Endian	00	00	00	61										…

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	…
Little-Endian	61	00	00	00										…

Castings

Fazer um ***cast*** para um tipo menor é o mesmo que carregar somente os *n* bytes mais baixos a partir de um endereço.

No exemplo um inteiro possui 4 bytes, e um char 1 byte.

Para realizar o cast, carregamos somente o byte mais baixo do inteiro para dentro do char.

Little-Endian

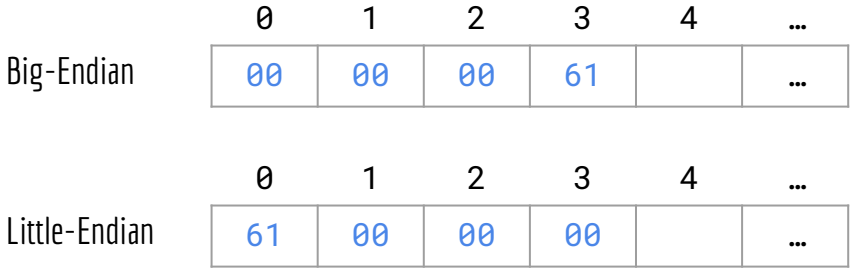
Considere as instruções MIPS32

lw REG, ENDEREÇO

Carrega 4 bytes a partir do endereço especificado.

lb REG, ENDEREÇO

Carrega 1 byte a partir do endereço especificado.



Little-Endian

Considerando Big-Endian.

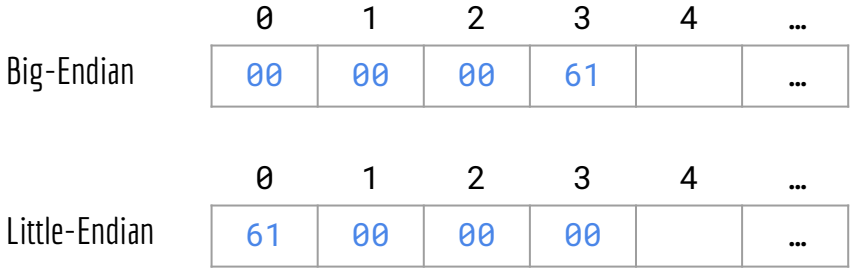
Qual o endereço inicial de *meuInt* se o carregarmos como um inteiro?

Qual o endereço inicial de *meuInt* se o carregarmos como um char?

Considerando Little-Endian.

Qual o endereço inicial de *meuInt* se o carregarmos como um inteiro?

Qual o endereço inicial de *meuInt* se o carregarmos como um char?



Little-Endian

Vantagens do little-endian?

- Os **endereços não precisam ser recalculados** quando fazemos castings.
    Somente a quantidade de bytes carregados é alterada!
        Fazemos castings o tempo todo em nossos programas, mesmo que muitas vezes isso não esteja explícito.

Little-Endian

Vantagens do little-endian?

- Os **endereços não precisam ser recalculados** quando fazemos castings.
    - Somente a quantidade de bytes carregados é alterada!
        - Fazemos castings o tempo todo em nossos programas, mesmo que muitas vezes isso não esteja explícito.
- É mais rápido/fácil realizar operações aritméticas
    - Operações partem do bit de ordem mais baixa.
    - Procurar por esse bit é mais fácil, pois ele necessariamente está no primeiro byte.

Little-Endian

Vantagens do little-endian?

- Os **endereços não precisam ser recalculados** quando fazemos castings.
    - Somente a quantidade de bytes carregados é alterada!
        - Fazemos castings o tempo todo em nossos programas, mesmo que muitas vezes isso não esteja explícito.
- É mais rápido/fácil realizar operações aritméticas
    - Operações partem do bit de ordem mais baixa.
    - Procurar por esse bit é mais fácil, pois ele necessariamente está no primeiro byte.
- É mais fácil construir uma máquina sem restrições de alinhamento (como o x86) utilizando little-endian.

Little-Endian vs Big-Endian

As viagens de Gulliver (Jonathan Swift, 1726).

Os Lilliputeanos (o povo pequenino) se dividiam em dois grupos.

Um grupo pregava que ovos cozidos deveriam ser abertos a partir da extremidade menor.

Os little-endians.

O outro, pregava que os ovos cozidos deveriam ser abertos a partir da extremidade maior.

Os big-endians.

A extremidade pela qual os moradores comiam ovos cozidos era motivo de disputas e guerras.

Little-Endian vs Big-Endian

As viagens de Gulliver (Jonathan Swift, 1726).

Os Lilliputeanos (o povo pequenino) se dividiam em dois grupos.

Um grupo pregava que ovos cozidos deveriam ser abertos a partir da extremidade menor.

Os little-endians.

O outro, pregava que os ovos cozidos deveriam ser abertos a partir da extremidade maior.

Os big-endians.

A extremidade pela qual os moradores comiam ovos cozidos era motivo de disputas e guerras.

Conclusão: Cientistas/Engenheiros da Computação têm um humor estranho.

Ordem dos bits

Quando falamos em *endianess*, geralmente estamos nos referindo a **ordem dos bytes.**

Também podemos aplicar o conceito nos bits.

Máquinas podem ser little-endian em seus bytes, e big-endian em seus bits.

Exemplo

O seu x86-64 é little-endian.

Armazena os bytes na “ordem reversa”.

No entanto, os bits de cada byte são armazenados da “maneira convencional”.

bits em big-endian.

Exercício

Crie o seguinte programa em C e compile normalmente com o GCC no Linux.

gcc meuPrograma.c -o nomeBinario

Atenção: não inclua nenhuma biblioteca no programa.

```c
int  main(){
     int a = 0xAABBCCDD;
     int b = 0x10111213;
     a = a + b;

     return 0;
}
```

Exercício

No binário gerado, execute os seguintes comandos:

xxd -p nomeBinario › nomeBinario.hex

O comando vai pegar os **bits do binário em ordem de 4 em 4**, e vai gerar uma saída em hexadeximal.

0000 se torna 0, 0001 se torna 1, ... 1111 se torna F.

O resultado será salvo no arquivo nomeBinario.hex.

objdump -d -M intel nomeBinario › nomeBinario.s

O comando vai fazer uma **engenharia reversa do seu binário.**

Vai mostrar o código Assemby x86-64 do programa no formato compatível com os manuais da Intel.

Exercício

Compare os arquivos do seu programa em C, o hexadecimal gerado, e o código assembly.

Procure pelo trecho int a = 0xAABBCCDD.

- Provavelmente a primeira coisa que seu compilador fez foi salvar esse valor na pilha.
- O quadro na pilha pode ser indicado pelo registrador RBP no x86-64.
  - Frame pointer.

O opcode do mov (dependendo de qual versão do mov o seu compilador vai utilizar) pode ser $C7_{16}$.

- Pode ser diferente dependendo do programa e do compilador.

Procure por esse *int* no assembly e no hexadecimal e entenda como ele ficou organizado na memória.

Exercício

Você deve:

Marcar no arquivo assembly (gerado pelo objdump) claramente onde está o trecho que salva o valor 0xAABBCCDD na memória, ou que carrega esse valor para um registrador.

Marcar no arquivo hexadecimal claramente onde está o trecho que salva o valor 0xAABBCCDD na memória, ou que carrega esse valor para um registrador.

Baseado nos dois arquivos, responda:

- O x86-64 é little ou big-endian?
- O endianess do assembly é necessariamente o mesmo endianess do hexadecimal?
- Qual dos arquivos representa o endianess real da máquina?
- Associe suas respostas com a diferença entre assembly e linguagem de máquina.

Resposta - Na minha máquina

Hexadecimal. Assembly.

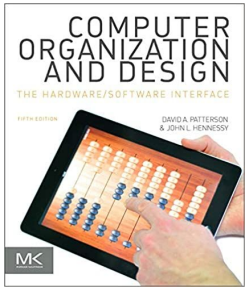
c7 45 f8 dd cc bb aa mov DWORD PTR [rbp-0x8],0xaabbccdd

-0x8 em complemento de 2.

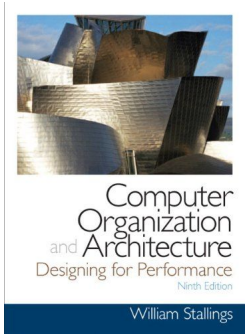
Será feito um deslocamento a partir de rbp.

Referências

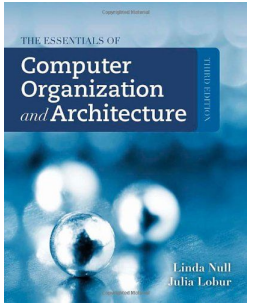
Patterson, Hennessy . Arquitetura e Organização de Computadores: A interface hardware/software. 2014.



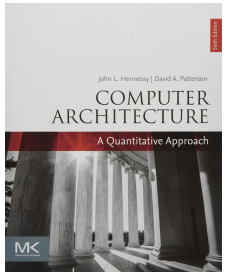
Stallings, W. Organização de Arquitetura de Computadores. 2012.



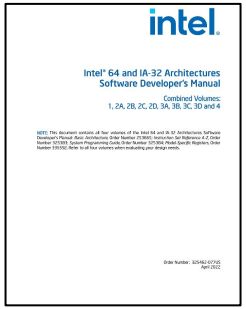
Null, Lobur. The Essentials of Computer Organization and Architecture. 2014.



Hennessy, Patterson. Arquitetura de Computadores: uma abordagem quantitativa. 2019.



Intel. Manual x86-64. https://www.intel.com/content/www/us/en/developer/articles/technical/intel-sdm.html.



Licença