Aula 3 - Arquitetura de Computadores

Paulino

27-02-2020

Representação Binária

Representação de Dados

- Diferença entre *informação* e *dados*:
  - informação tem contexto, significado
  - dados são mais abstratos: números, textos, valores
- Precisamos representar os dados em bits no computador digital.
- Num computador digital, os sinais binários correspondem a *bits* que são armazenados em elementos de memória, eles são aplicados às entradas de circuitos digitais e são as saídas desses circuitos.

- Um bit é um sinal, ou o estado de um elemento de memorização, que pode ter um de 2 valores binários: `0` ou `1`.
- Um *byte*, ou um octeto, é um arranjo de 8 bits.
- As memórias, em geral, são arranjadas para serem acessadas byte-a-byte. Isto é, os *endereços* de memória permitem acessar um *byte* específico de uma memória.
- Os dados (e as instruções) são compostos por *bytes*. Ao dizermos que um computador (ou um processador) trabalha com 32 ou 64 bits, isto quer dizer que o processador consegue realizar operações aritméticas com dados numéricos em 32 ou 64 bits. Ou, a *palavra* do processador é de 32 ou 64 bits. Na maioria das vezes, isto quer, também, dizer que o barramento de dados transmite palavras de 32 ou 64 bits.

Representação de texto

- Textos são compostos por caracteres
- Os caracteres são:
  - letras maiúsculas e minúsculas de um alfabeto: a, b, c, ... e A, B, C, ...
  - sinais de pontuação: . , ! ? ; :
  - sinais gráficos: + - / * & @ $ % ( ) [ ] { } # ' < > ~ \ SP
  - dígitos: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9
- Precisamos de códigos binários únicos para cada um destes caracteres:
  - ASCII - conjunto de caracteres usado na telegrafia americana, serviu de base para uma codificação de 7 bits. Além dos caracteres textuais, existem caracteres de *controle* que indicam: início de transmissão, fim de transmissão, fim de linha, sineta, DEL, ...
  - EBCEDIC - codificação usada pela IBM
  - UTF-8

ASCII

USASCII code chart

$b_7\,b_6\,b_5$					0 0 0	0 0 1	0 1 0	0 1 1	1 0 0	1 0 1	1 1 0	1 1 1
b_4	b_3	b_2	b_1	Column → / Row ↓	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0	0	0	0	NUL	DLE	SP	0	@	P	`	p
0	0	0	1	1	SOH	DC1	!	1	A	Q	a	q
0	0	1	0	2	STX	DC2	"	2	B	R	b	r
0	0	1	1	3	ETX	DC3	#	3	C	S	c	s
0	1	0	0	4	EOT	DC4	$	4	D	T	d	t
0	1	0	1	5	ENQ	NAK	%	5	E	U	e	u
0	1	1	0	6	ACK	SYN	&	6	F	V	f	v
0	1	1	1	7	BEL	ETB	'	7	G	W	g	w
1	0	0	0	8	BS	CAN	(	8	H	X	h	x
1	0	0	1	9	HT	EM	)	9	I	Y	i	y
1	0	1	0	10	LF	SUB	*	:	J	Z	j	z
1	0	1	1	11	VT	ESC	+	;	K	[	k	{
1	1	0	0	12	FF	FS	,	<	L	\	l	|
1	1	0	1	13	CR	GS	-	=	M	]	m	}
1	1	1	0	14	SO	RS	.	>	N	^	n	~
1	1	1	1	15	SI	US	/	?	O	_	o	DEL

Figure 1: Tabela ASCII

Fonte: Wikipedia

Representação de números inteiros em bits

- Os números poderiam ser representados diretamente como texto usando códigos como o ASCII ou o EBCEDIC. Se os números só são armazenados, esta pode ser uma boa solução. Mas, se quisermos realizar operações aritméticas com os números, este tipo de codificação não é apropriado.
- Uma representação numérica boa deve facilitar a criação de HW para implementar as operações aritméticas nos números.
- Uma representação natural que atende este requisito é a representação em base 2 dos números inteiros não negativos.

Representação dos números em diferentes bases

Notação de números com diferentes bases

- Base 10 (decimal):
  $1969_{10} = 1969_d = 1 \cdot 10^3 + 9 \cdot 10^2 + 6 \cdot 10^1 + 9 \cdot 10^0$
- Base 8 (octal): $1969_{10} = 3661_8 = 3 \cdot 8^3 + 6 \cdot 8^2 + 6 \cdot 8^1 + 1 \cdot 8^0$
- Base 2 (binária):
  $1969_{10} = 11110110001_2 = 11110110001_b = 1 \cdot 2^{10} + 1 \cdot 2^9 + 1 \cdot 2^8 + 1 \cdot 2^7 + 0 \cdot 2^6 + 1 \cdot 2^5 + 1 \cdot 2^4 + 0 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0$
- Base 16 (hexadecimal):
  $1969_{10} = 7B1_{16} = 7B1_H = 7 \cdot 16^2 + B \cdot 16^1 + 1 \cdot 16^0$

Tabelas de codificações importantes

Decimal	Hexa	Octal	Binário
0	0	0	0
1	1	1	1
2	2	2	10
3	3	3	11
4	4	4	100
5	5	5	101
6	6	6	110
7	7	7	111
8	8	10	1000
9	9	11	1001
10	A	12	1010
11	B	13	1011
12	C	14	1100
13	D	15	1101
14	E	16	1110
15	F	17	1111

Tabelas de codificações importantes(1)

Decimal	Hexa	Octal	Binário
$16 = 2^4$	10	20	10000
$32 = 2^5$	20	40	100000
$64 = 2^6$	40	100	1000000
$128 = 2^7$	80	200	10000000
$256 = 2^8$	100	400	100000000
$512 = 2^9$	200	1000	1000000000
1K=1024=2^{10}	400	2000	10000000000
1M=2^{20}	100000	4000000	100000000000000000000

- Observe a aproximação: $1024 \approx 1K$

Para eliminar a dúvida de 1KB = 1000B ou 1024B, foi introduzida a noção de *Kilo binary Bytes* em 1998 pelo IEC. Agora, o correto é escrever: 1KiB, 1MiB, 1GiB, ... Mas, muitos ainda não conhecem este conceito.

Tabelas de codificações importantes(2)

Multiples of bytes								V·T·E
Decimal			Binary					
Value	Metric		Value	IEC		JEDEC		
1000	kB	kilobyte	1024	KiB	kibibyte	KB	kilobyte	
1000^2	MB	megabyte	1024^2	MiB	mebibyte	MB	megabyte	
1000^3	GB	gigabyte	1024^3	GiB	**gibibyte**	GB	gigabyte	
1000^4	TB	terabyte	1024^4	TiB	tebibyte	–		
1000^5	PB	petabyte	1024^5	PiB	pebibyte	–		
1000^6	EB	exabyte	1024^6	EiB	exbibyte	–		
1000^7	ZB	zettabyte	1024^7	ZiB	zebibyte	–		
1000^8	YB	yottabyte	1024^8	YiB	yobibyte	–		
Orders of magnitude of data								

Figure 2: Tabela das potências de 1000 (Fonte: Wikipedia)

Conversão de números decimais para base 2

- Faça divisões sucessivas por 2 até o quociente ser 0
- O número em base 2 é dado pelos restos das divisões
- O bit mais significativo é o último resto, o bit menos significativo é o resto da primeira divisão

Conversão de Binário para Decimal

- Dado um número em base 2: $b_n b_{n-1} \dots b_1 b_0$ para convertê-lo em decimal, basta calcular:
  $b_n \cdot 2^n + b_{n-1} \cdot 2^{n-1} + \dots + b_1 \cdot 2^1 + b_0 \cdot 2^0$

Exemplo:

Quociente	Resto
1969	1
984	0
492	0
246	0
123	1
61	1
30	0
15	1
7	1
3	1
1	1
0	

$1969_{10} = 11110110001_2$ (ano em que o homem pisou na lua)
$11110110001_2 = 2^{10} + 2^9 + 2^8 + 2^7 + 2^5 + 2^4 + 1 =$
$1024 + 512 + 256 + 128 + 32 + 16 + 1 = 1969_{10}$

Exercícios

1. Converta de decimal para binário:

a. 19
b. 33
c. 42

2. Converta para decimal os seguintes números:

a. 10101010
b. 110011001100
c. 111000111000111

Adição de números

- $5 + 1 = 101 + 1 = 110 = 2^2 + 2^1 = 4 + 2 = 6$
- $19 + 33 = 10011 + 100001 = 110100 = 2^5 + 2^4 + 2^2 = 32 + 16 + 4 = 52$
- $31 + 2 = 11111 + 10 = 100001 = 2^5 + 2^0 = 32 + 1 = 33$

$$\begin{array}{r} 1\ 0\ 1 \\ +\qquad 1 \\ \hline 1\ 1\ 0 \end{array} \qquad \begin{array}{r} 1\ 0\ 0\ 1\ 1 \\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1 \\ \hline 1\ 1\ 0\ 1\ 0\ 0 \end{array} \qquad \begin{array}{r} 1\ 1\ 1\ 1\ 1 \\ 1\ 0 \\ \hline 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1 \end{array}$$

Estouro (*overflow*)

- Os processadores tem um número fixo de bits para realizar as operações aritméticas. Por exemplo, imagine um processador de 8 bits:
  - Os números são sempre representados por 8 bits
  - Ex.: 42 $\rightarrow$ 00101010 e não simplesmente 101010
- Problema 1: o que acontece quando um número precisa de mais bits para ser representado?
- Problema 2: e se a adição de 2 números resultar num número não representável por 8 bits?

Exemplo: $100 + 200$

$$\begin{array}{ccccccccc}
 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\
 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
\hline
1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0
\end{array}$$

Estouro

Subtração

$$\begin{array}{cccc} & 1 & 0 & 1 \\ - & & & 1 \\ \hline & 1 & 0 & 0 \end{array} \qquad \begin{array}{ccccccc} & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ - & & & & 1 & 1 & 1 \\ \hline & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{array} \qquad \begin{array}{cc} & 0 \\ - & 1 \\ \hline & -1 \end{array}$$

- Problema: não existe – num bit, como representar números negativos num computador digital?
- Solução: bit de sinal $\leftarrow$ bit mais a esquerda, *MSB*

$$\begin{array}{ccccccccc} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ - & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ \hline 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{array}$$ **Estouro negativo?** (*underflow*)

- Quando o bit de sinal é 0, o número é positivo, quando é 1, o número é negativo. O zero tem *sinal positivo*.

Representação de inteiros negativos com complemento de 2

- Negue (complemento de 1) cada bit da representação positiva com o númro de bits da palavra do processador
- Adicione 1, este é o número negativo em complemento de 2 (complemento de 1+1)

Exemplos:

decimal	8 bits	16 bits
-1	11111111	1111111111111111
-7	11111001	1111111111111001
-127	10000001	1111111110000001
-130	estouro	1111111101111110

Por que usar representação em complemento de 2?

- Observe que se você complementar um número duas vezes, você obtém o número original (i.e., $-(-x) = x$)
- A operação de complementar um número é fácil de ser executada pelo HW
- Adicionar um número e o complemento de 2 de outro dá o mesmo resultado que subtrair o primeiro do segundo $\Longrightarrow$ não precisa de HW para subtração

Exercícios

1. Calcule usando complemento de 2 com 8 bits:

a. 15 - 7

b. -15 + 7

c. -128 - 1

d. -128 - 128

Observações importantes

- Para o complemento de 2 ter sentido sempre precisamos saber o tamanho da palavra
- A regra para saber se houve *estouro* precisa ser revista
  - Ao adicionar dois números com sinais opostos, não há *estouro*
  - Ao adicionar dois números com o mesmo sinal, há estouro se o sinal do resultado é diferente do sinal dos operandos
- O maior número positivo que podemos representar com n bits é $2^{n-1} - 1$
- O menor número negativo representável com n bits é -2^{n-1}
- Se usamos uma palavra com n bits para representar apenas inteiros não negativos, os números representados estão no intervalo $[0, 2^n - 1]$
- Ao representar números negativos com complemento de 2, os números estão no intervalo $[-2^{n-1}, 2^{n-1} - 1]$