Sistemas Digitais

ET46B

Prof. Eduardo Vinicius Kuhn

kuhn@utfpr.edu.br
Curso de Engenharia Eletrônica
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Capítulo 2
Sistemas de numeração e códigos

Conteúdo

Objetivos

- Converter um número de um **sistema de numeração (e.g., decimal, binário ou hexadecimal)** para outro.
- Abordar o **sistema de numeração hexadecimal** e destacar as suas vantagens.
- Tratar da representação de números decimais usando o **código BCD** e explicitar a diferença para a representação binária.
- Introduzir o **código Gray**, código Johnson, codificação *one-hot* e um exemplo de código alfanumérico (i.e., o **ASCII**).
- Definir o conceito de **bytes, nibbles e palavras**.

Sistemas de numeração

Considere **um número qualquer**

$$x = (d_n \dots d_0, d_{-1} \dots d_{-m})_B, \quad n, m \in \mathbb{Z}$$

representado em **um sistema de numeração de base B** (e.g., 2, 8, 10, 16), com D dígitos d_n.

A partir disso, é possível mostrar que x pode ser expresso como

$$x = d_n B^n + \ldots + d_0 B^0 + d_{-1} B^{-1} + \ldots + d_{-m} B^{-m}$$

Vale destacar que essa representação é também válida para outros sistemas de numeração posicionais.

Revisitando o sistema de numeração decimal

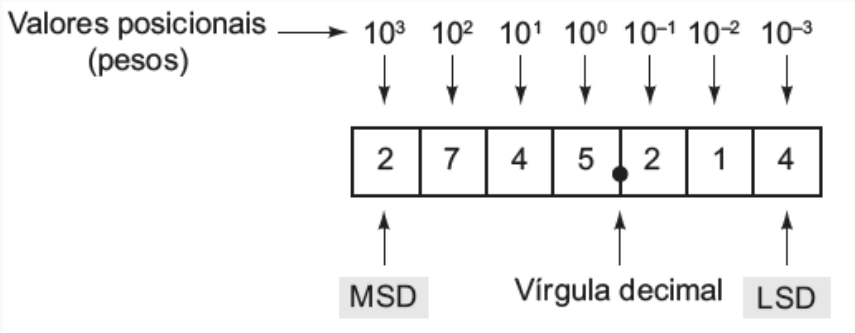
- O sistema **decimal** é composto por 10 símbolos/dígitos.
- **Base 10** por ter dez dígitos, i.e., 0-9.
- **É um sistema posicional.**
- **MSD** (dígito mais a esquerda) e **LSD** (dígito mais a direita).
- A palavra dígito é derivada da palavra 'dedo' em latim.

Exemplo: Como representar o número $2745{,}214_{10}$?

Revisitando o sistema de numeração decimal

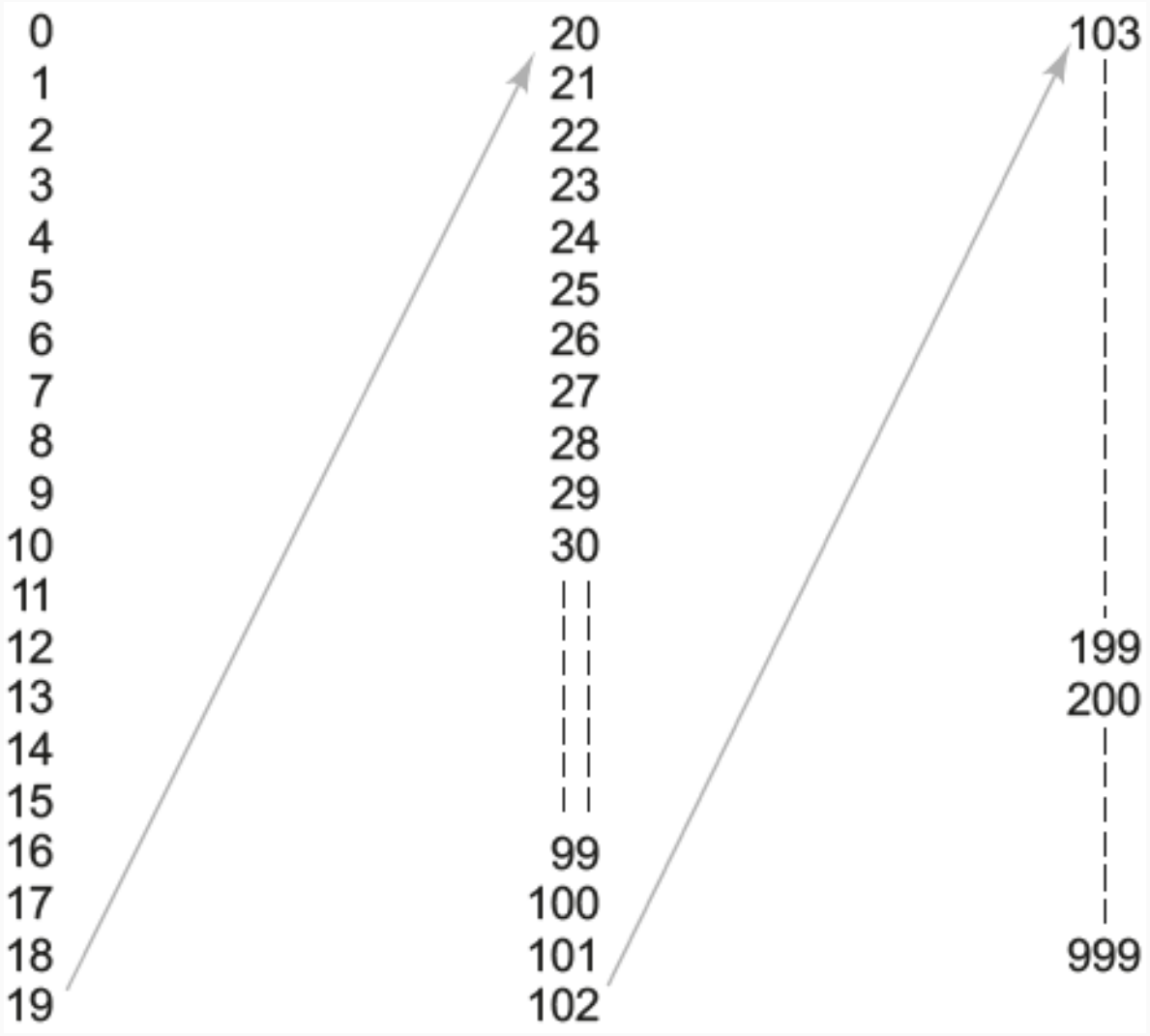
- O sistema **decimal** é composto por 10 símbolos/dígitos.
- Base 10 por ter dez dígitos, i.e., 0-9.
- É um sistema posicional.
- MSD (dígito mais a esquerda) e LSD (dígito mais a direita).
- A palavra dígito é derivada da palavra 'dedo' em latim.

Exemplo: Como representar o número $2745{,}214_{10}$?



$$(2\times10^{3})+(7\times10^{2})+(4\times10^{1})+(5\times10^{0})+(2\times10^{-1})+(1\times10^{-2})+(4\times10^{-3})$$

Contagem em um sistema de numeração decimal



Com D dígitos decimais, quantos números diferentes podem ser representados?

Com D dígitos decimais, quantos números diferentes podem ser representados?

10^D **números diferentes**

$\{0, \ldots, 10^D - 1\}$

Sistema de numeração binário

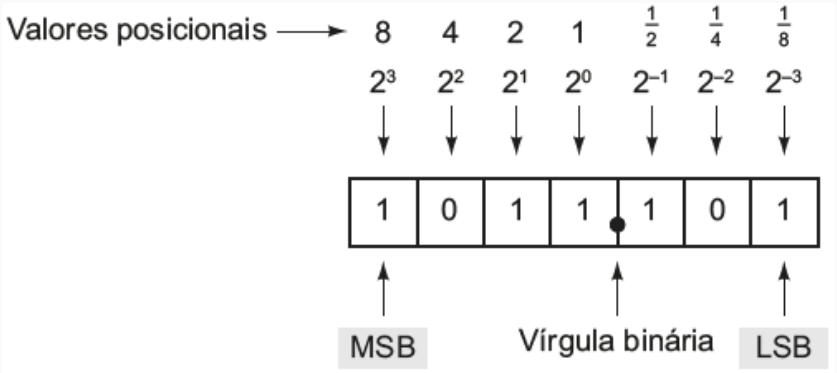
- O sistema **binário** é composto por 2 símbolos/dígitos.
- **Base 2** por ter 2 dígitos, i.e., 0 e 1.
- É um **sistema posicional**.
- **MSB** (bit mais a esquerda) e **LSB** (bit mais a direita).
- O termo dígito binário (*binary digit*) é abreviado para 'bit'.

Exemplo: Como representar o número $1011{,}101_2$?

Sistema de numeração binário

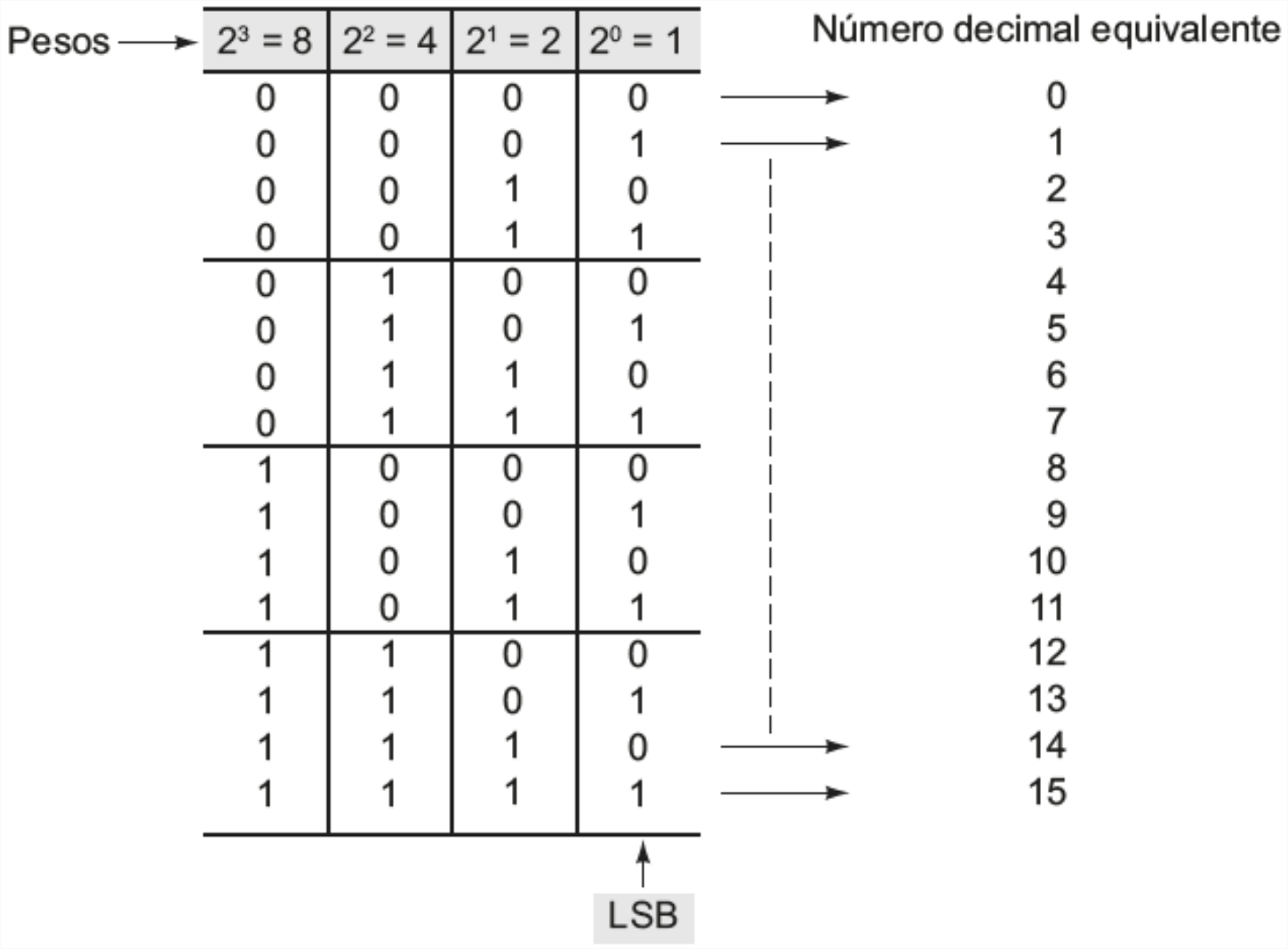
- O sistema **binário** é composto por 2 símbolos/dígitos.
- **Base 2** por ter 2 dígitos, i.e., 0 e 1.
- É um **sistema posicional**.
- **MSB** (bit mais a esquerda) e **LSB** (bit mais a direita).
- O termo dígito binário (*binary digit*) é abreviado para 'bit'.

Exemplo: Como representar o número $1011{,}101_2$?



$$(1\times2^3)+(0\times2^2)+(1\times2^1)+(1\times2^0)+(1\times2^{-1})+(0\times2^{-2})+(1\times2^{-3})$$

Contagem em um sistema de numeração binário



Pesos →	$2^3 = 8$	$2^2 = 4$	$2^1 = 2$	$2^0 = 1$	Número decimal equivalente
	0	0	0	0	0
	0	0	0	1	1
	0	0	1	0	2
	0	0	1	1	3
	0	1	0	0	4
	0	1	0	1	5
	0	1	1	0	6
	0	1	1	1	7
	1	0	0	0	8
	1	0	0	1	9
	1	0	1	0	10
	1	0	1	1	11
	1	1	0	0	12
	1	1	0	1	13
	1	1	1	0	14
	1	1	1	1	15
				LSB	

Com D bits, quantos números diferentes podem ser representados?

Com D bits, quantos números diferentes podem ser representados?

2^D números diferentes

$$\{0, \ldots, 2^D - 1\}$$

Sistema de numeração binário

Exemplo: Considerando a representação binária, determine:

a) Qual é o número decimal equivalente a 1101011_2?

b) Qual é o número binário seguinte a 10111_2 em uma sequência de contagem?

c) Qual o maior número decimal que pode ser representado usando 8 bits?

d) Qual é o menor número decimal que pode ser representado usando 12 bits?

Sistema de numeração binário

Exemplo: Considerando a representação binária, determine:

a) Qual é o número decimal equivalente a 1101011_2?
R: 107_{10}

b) Qual é o número binário seguinte a 10111_2 em uma sequência de contagem?
R: 11000_2

c) Qual o maior número decimal que pode ser representado usando 8 bits?
R: $2^8 - 1 = 255_{10}$

d) Qual é o menor número decimal que pode ser representado usando 12 bits?
R: 0_{10}

Conversão de decimal para binário

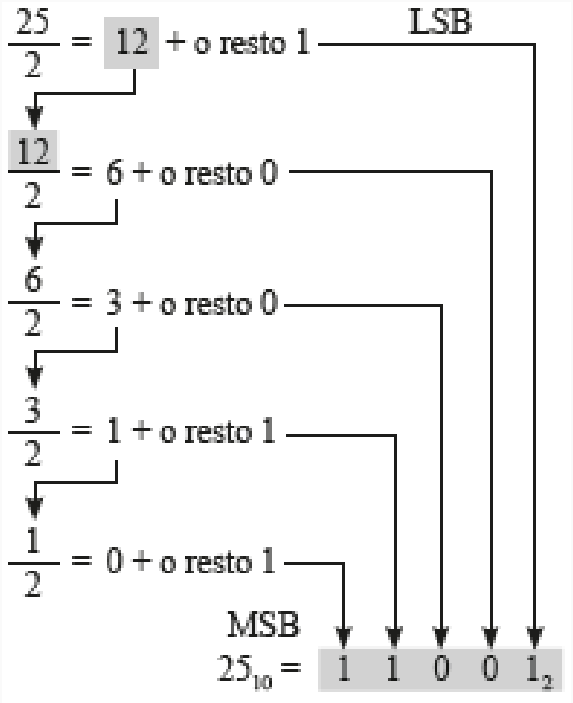
Existem 2 maneiras de converter um número decimal inteiro em seu equivalente binário, a saber:

1) **Expressar o número decimal como uma soma de potências de 2**; então, 1s e 0s são colocados nas posições apropriadas, e.g.,

$$\begin{aligned} 45_{10} &= 32 + 8 + 4 + 1 \\ &= 2^5 + 0 + 2^3 + 2^2 + 0 + 2^0 \\ &= 101101_2 \end{aligned}$$

Conversão de decimal para binário

2) **Utilizar divisões sucessivas por 2;** então, o resto de cada divisão constitui a representação binária (do LSB ao MSB) até que um quociente 0 seja obtido, e.g.,



Conversão de decimal para binário

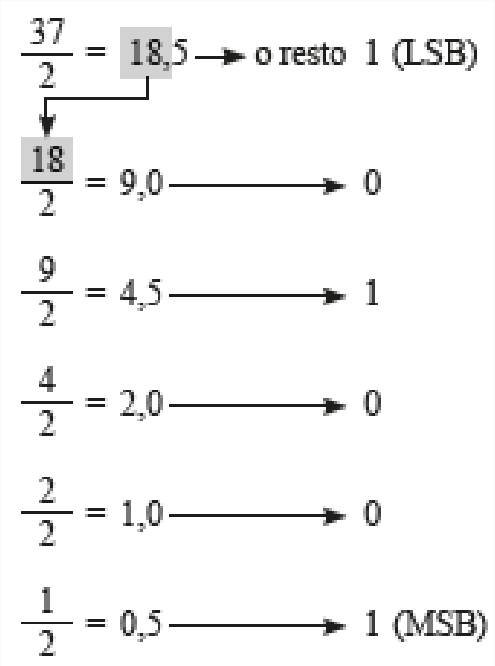
Exemplo: Converta 37_{10} para a representação binária.

Conversão de decimal para binário

Exemplo: Converta 37_{10} para a representação binária.

R:

$$\begin{aligned} 37_{10} &= 32 + 4 + 1 \\ &= 2^5 + 0 + 0 + 2^2 + 0 + 2^0 \\ &= 100101_2. \end{aligned}$$



Conversão de decimal para binário

E, como lidar com números "não inteiros" (fracionários)?

$$[\mathrm{PI}], [\mathrm{PF}]$$

- $[\mathrm{PI}] \Rightarrow$ Usando divisões sucessivas por 2.
- $[\mathrm{PF}] \Rightarrow$ Multiplica-se as **partes fracionárias** sucessivamente por 2, pegando as partes inteiras como resultados.
- O separador "," se mantém.

Conversão de decimal para binário

Exemplo: Converta $3{,}25_{10}$ para a representação binária.

Conversão de decimal para binário

Exemplo: Converta $3{,}25_{10}$ para a representação binária.

R: A conversão da parte inteira segue por divisões sucessivas, i.e.,

$$3_{10} = 11_2$$

Por sua vez, a parte fracionária, é determinada multiplicando sucessivamente por 2 e pegando as partes inteiras, i.e.,

$$0{,}25_{10} \times 2 \Rightarrow \ 0 \ + \ \text{resto } 0{,}5$$

$$0{,}5_{10} \times 2 \Rightarrow \ 1 \ + \ \text{resto } 0$$

o que implica

$$0{,}25_{10} = 0{,}01_2$$

Portanto,

$$3{,}25_{10} = 11{,}01_2$$

Sistemas de numeração hexadecimal

- O sistema **hexadecimal** contém 16 símbolos/dígitos.
- **Base 16**, i.e., 0–9 e A–F.
- É um **sistema posicional**.
- Os dígitos A–F equivalem aos valores decimais de 10–15.
- 1 dígito hexa corresponde a 4 bits...

Hexadecimal	Decimal	Binário
0	0	0000
1	1	0001
2	2	0010
3	3	0011
4	4	0100
5	5	0101
6	6	0110
7	7	0111

Hexadecimal	Decimal	Binário
8	8	1000
9	9	1001
A	10	1010
B	11	1011
C	12	1100
D	13	1101
E	14	1110
F	15	1111

Sistemas de numeração hexadecimal

Exemplo: Converta $2\mathrm{AF}_{16}$ para decimal.

Exemplo: Converta 214_{10} para hexadecimal.

Sistemas de numeração hexadecimal

Exemplo: Converta $2\mathrm{AF}_{16}$ para decimal.

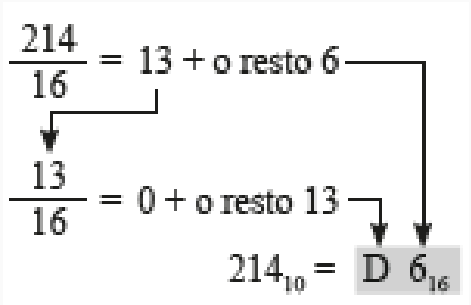
R: Usando agora potências de 16,

$$\begin{aligned} 2\mathrm{AF}_{16} &= 2 \times 16^2 + 10 \times 16^1 + 15 \times 16^0 \\ &= 512 + 160 + 15 \\ &= 687_{10} \end{aligned}$$

Exemplo: Converta 214_{10} para hexadecimal.

R: Realizando divisões sucessivas,

$$214_{10} = \mathrm{D6}_{16}$$



(Os restos das divisões sucessivas formam os dígitos do número hexa, sendo restos maiores do que 9 representados pelas letras de A–F.)

Sistemas de numeração hexadecimal

Exemplo: Converta 423_{10} para hexadecimal.

Hexadecimal	Decimal	Binário
0	0	0000
1	1	0001
2	2	0010
3	3	0011
4	4	0100
5	5	0101
6	6	0110
7	7	0111

Hexadecimal	Decimal	Binário
8	8	1000
9	9	1001
A	10	1010
B	11	1011
C	12	1100
D	13	1101
E	14	1110
F	15	1111

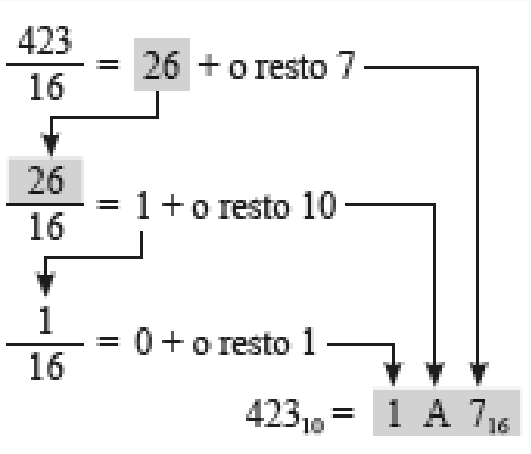
Sistemas de numeração hexadecimal

Exemplo: Converta 423_{10} para hexadecimal.

Hexadecimal	Decimal	Binário
0	0	0000
1	1	0001
2	2	0010
3	3	0011
4	4	0100
5	5	0101
6	6	0110
7	7	0111

Hexadecimal	Decimal	Binário
8	8	1000
9	9	1001
A	10	1010
B	11	1011
C	12	1100
D	13	1101
E	14	1110
F	15	1111

R: Realizando divisões sucessivas,



Sistemas de numeração hexadecimal

Conversão de binário em hexa: consiste, simplesmente, em dispor o número binário em grupos de quatro bits e converter cada grupo no dígito hexa equivalente, e.g.,

$$1110100110_2 = \underbrace{0011}_{3}\underbrace{1010}_{A}\underbrace{0110}_{6}$$
$$= 3A6_{16}$$

(Zeros podem ser acrescentados para completar um grupo de 4 bits.)

Conversão de hexa em binário: consiste em converter cada dígito hexa no equivalente binário de 4 bits.

A conversão de binário em hexa (e vice-versa) é simples,
o que justifica a utilização do sistema hexadecimal.

Contagem em um sistema de numeração hexadecimal

Quando contamos em hexa, cada dígito pode ser incrementado (acrescido de 1) de 0–F, e.g.,

- 38, 39, $3\mathrm{A}$, $3\mathrm{B}$, $3\mathrm{C}$, $3\mathrm{D}$, $3\mathrm{E}$, $3\mathrm{F}$, 40, 41, 42
- $6\mathrm{F8}$, $6\mathrm{F9}$, $6\mathrm{FA}$, $6\mathrm{FB}$, $6\mathrm{FC}$, $6\mathrm{FD}$, $6\mathrm{FE}$, $6\mathrm{FF}$, 700

(Note que, um dígito 9 quando incrementado, torna-se A.)

Com D dígitos hexa, quantos números diferentes podem ser representados?

Com D dígitos hexa, quantos números diferentes podem ser representados?

16^D **números diferentes**

$\{0, \ldots, 16^D - 1\}$

Vantagens do sistema de numeração hexadecimal

- **O sistema hexadecimal é usado como uma representação compacta de sequências binárias.**
- Sequências binárias longas (de até 64 bits) são comuns (em computadores).
- A escrita em hexadecimal é **mais conveniente e menos propensa a erros** do que a representação binária.

Humanos operam com números decimais, sistemas digitais com números binários, e a numeração hexadecimal facilita aos humanos lidarem com números binários.

Utilização do sistema de numeração hexadecimal

Exemplo: Converta 378_{10} em um número binário de 16 bits por meio do sistema de numeração hexadecimal.

Utilização do sistema de numeração hexadecimal

Exemplo: Converta 378_{10} em um número binário de 16 bits por meio do sistema de numeração hexadecimal.

R: Realizando a divisão sucessiva por 16 e coletando o resto, obtém-se

$$378_{10} = 17\mathrm{A}_{16}.$$

Então, levando em conta que cada dígito hexa pode ser representado por 4 bits,

$$17\mathrm{A}_{16} = 0001\ 0111\ 1010_2.$$

Portanto,

$$378_{10} = 0001\ 0111\ 1010_2.$$

Resumo sobre as conversões

- **Binário/Hexa ⇒ Decimal:** Utilize a **soma dos pesos** de cada dígito.
- **Decimal ⇒ Binário/Hexa:** Realize **divisões sucessivas** por 2 (binário) ou 16 (hexa), reunindo os **restos** da divisão.

- **Binário ⇒ Hexa:** **Agrupe os bits em grupos de 4** e converta cada grupo no dígito hexa equivalente.
- **Hexa ⇒ Binário:** Represente cada dígito **hexa em 4 bits equivalentes**.

Diferença entre sistemas de numeração e código

Um **sistema de numeração** possui uma base numérica e uma estrutura posicional que permite representar quantidades numéricas de forma única, e.g.,

- Decimal (base 10)
- Binário (base 2)
- Hexadecimal (base 16)

Um **código** é uma atribuição (mapeamento) de símbolos para representar informações sem necessitar de estrutura posicional ou base numérica, e.g.,

- BCD
- ASCII
- Unicode

Código BCD (decimal codificado em binário)

- Quando cada dígito de um número decimal é representado por seu equivalente binário, tem-se como resultado um **código decimal codificado em binário** (*binary-coded-decimal*).
- Um dígito decimal tem valor máximo igual a 9; logo, 4 bits são necessários para **codificar cada dígito** (e.g., $9_{10} = 1001_2$).
- Pouco eficiente já que requer mais bits para representar um dado número decimal.

Exemplo: Converta 874_{10} para BCD.

Código BCD (decimal codificado em binário)

- Quando cada dígito de um número decimal é representado por seu equivalente binário, tem-se como resultado um **código decimal codificado em binário** (*binary-coded-decimal*).
- Um dígito decimal tem valor máximo igual a 9; logo, 4 bits são necessários para **codificar cada dígito** (e.g., $9_{10} = 1001_2$).
- Pouco eficiente já que requer mais bits para representar um dado número decimal.

Exemplo: Converta 874_{10} para BCD.

R:

8	7	4	(decimal)
↓	↓	↓	
1000	0111	0100	(BCD)

BCD é um código em que cada dígito é codificado em seu equivalente binário (não é um sistema de numeração).

Código BCD (decimal codificado em binário)

Exemplo: Converta $110\,1000\,0011\,1001_{(\mathrm{BCD})}$ em seu equivalente decimal.

Código BCD (decimal codificado em binário)

Exemplo: Converta $110\,1000\,0011\,1001_{(\mathrm{BCD})}$ em seu equivalente decimal.

R: Separando em grupos de 4 bits,

$$0110\ 1000\ 0011\ 1001_{(\mathrm{BCD})}$$

e convertendo cada grupo, obtém-se

$$6839_{10}.$$

Portanto,

$$0110100000111001_{(\mathrm{BCD})} = 6839_{10}.$$

(O código BCD não usa os números 1010 até 1111; logo, o aparecimento desses números 'proibidos' é indicativo de erro.)

Código Gray

- **Desenvolvido para reduzir erros**, dado que somente um bit muda entre números sucessivos.
- No sistema binário, vários bits podem mudar de estado simultaneamente (e.g., de $3_{10} = 011_2$ para $4_{10} = 100_2$).
- Aplicações envolvem, e.g., i) **sistemas de comunicação** (16-QAM); ii) codificadores de posição (encoders); iii) algoritmos genéticos (codificação de cromossomos)...

B_2	B_1	B_0	G_2	G_1	G_0
0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	1
0	1	0	0	1	1
0	1	1	0	1	0
1	0	0	1	1	0
1	0	1	1	1	1
1	1	0	1	0	1
1	1	1	1	0	0

Comparativo entre as representações

Decimal	Binário	Hexadecimal	BCD	Gray
0	0000	0	0000	0000
1	0001	1	0001	0001
2	0010	2	0010	0011
3	0011	3	0011	0010
4	0100	4	0100	0110
5	0101	5	0101	0111
6	0110	6	0110	0101
7	0111	7	0111	0100
8	1000	8	1000	1100
9	1001	9	1001	1101
10	1010	A	0001 0000	1111
11	1011	B	0001 0001	1110
12	1100	C	0001 0010	1010
13	1101	D	0001 0011	1011
14	1110	E	0001 0100	1001
15	1111	F	0001 0101	1000

Código Johnson

- Frequentemente usado em máquinas de estado finito.
- **Fornece uma sequência de estados com padrões únicos.**
- Pode ser útil em circuitos lógicos sequenciais simples.

Decimal	Código Johnson	Codificação one-hot
0	00000	0000000001
1	00001	0000000010
2	00011	0000000100
3	00111	0000001000
4	01111	0000010000
5	11111	0000100000
6	11110	0001000000
7	11100	0010000000
8	11000	0100000000
9	10000	1000000000

Codificação one-hot

- Representa variáveis como vetores binários.
- **Apenas um bit está ativo (hot) por vez.**
- Comumente usada em aprendizado de máquina.

Decimal	Código Johnson	Codificação one-hot
0	00000	0000000001
1	00001	0000000010
2	00011	0000000100
3	00111	0000001000
4	01111	0000010000
5	11111	0000100000
6	11110	0001000000
7	11100	0010000000
8	11000	0100000000
9	10000	1000000000

Códigos alfanuméricos

- **Códigos alfanuméricos:** Incluem **letras, dígitos numéricos, sinais de pontuação e caracteres especiais**, simbolizando todos os caracteres de um teclado.
  - 26 letras minúsculas, 26 maiúsculas
  - 10 dígitos numéricos
  - 7 sinais de pontuação
  - 20 a 40 caracteres especiais (como +, /, #, %, *, etc.)

- **ASCII** *(American Standard Code for Information Interchange)*:
  - Código de 7 bits, 128 representações codificadas
  - **Inclui caracteres de um teclado padrão e funções como (RETURN) e (LINEFEED)**
  - **Usado para a transferência de informação alfanumérica entre um computador e dispositivos externos**
  - Basta realizar a conversão do valor hexadecimal em binário para obter o código binário de 7 bits

Código ASCII

Caractere	HEX	Decimal	Caractere	HEX	Decimal	Caractere	HEX	Decimal	Caractere	HEX	Decimal
NUL (null)	0	0	Space	20	32	@	40	64	.	60	96
Start Heading	1	1	!	21	33	A	41	65	a	61	97
Start Text	2	2	"	22	34	B	42	66	b	62	98
End Text	3	3	#	23	35	C	43	67	c	63	99
End Transmit	4	4	$	24	36	D	44	68	d	64	100
Enquiry	5	5	%	25	37	E	45	69	e	65	101
Acknowlege	6	6	&	26	38	F	46	70	f	66	102
Bell	7	7	`	27	39	G	47	71	g	67	103
Backspace	8	8	(	28	40	H	48	72	h	68	104
Horiz.Tab	9	9	)	29	41	I	49	73	i	69	105
Line Feed	A	10	*	2A	42	J	4A	74	j	6A	106
Vert.Tab	B	11	+	2B	43	K	4B	75	k	6B	107
Form Feed	C	12	,	2C	44	L	4C	76	l	6C	108
Carriage Return	D	13	-	2D	45	M	4D	77	m	6D	109
Shift Out	E	14	.	2E	46	N	4E	78	n	6E	110
Shift In	F	15	/	2F	47	O	4F	79	o	6F	111
Data Link Esc	10	16	0	30	48	P	50	80	p	70	112
Direct Control 1	11	17	1	31	49	Q	51	81	q	71	113
Direct Control 2	12	18	2	32	50	R	52	82	r	72	114
Direct Control 3	13	19	3	33	51	S	53	83	s	73	115
Direct Control 4	14	20	4	34	52	T	54	84	t	74	116
Negative ACK	15	21	5	35	53	U	55	85	u	75	117
Synch Idle	16	22	6	36	54	V	56	86	v	76	118
End Trans Block	17	23	7	37	55	W	57	87	w	77	119
Cancel	18	24	8	38	56	X	58	88	x	78	120
End of Medium	19	25	9	39	57	Y	59	89	y	79	121
Substitue	1A	26	:	3A	58	Z	5A	90	z	7A	122
Escape	1B	27	;	3B	59	[	5B	91	{	7B	123
Form separator	1C	28	<	3C	60	\	5C	92	|	7C	124
Group separator	1D	29	=	3D	61	]	5D	93	}	7D	125
Record Separator	1E	30	>	3E	62	^	5E	94	~	7E	126
Unit Separator	1F	31	?	3F	63	_	5F	95	Delete	7F	127

Código ASCII

Exemplo: Considere que a seguinte mensagem, codificada em ASCII, é armazenada em posições sucessivas de memória:

$$01010011\ 01010100\ 01001111\ 01010000$$

Qual é a mensagem?

(O acréscimo de um bit extra é denominado preenchimento com 0s.)

Código ASCII

Exemplo: Considere que a seguinte mensagem, codificada em ASCII, é armazenada em posições sucessivas de memória:

$$01010011\ 01010100\ 01001111\ 01010000$$

Qual é a mensagem?

R: Usando a tabela,

$$\begin{cases} 0101\ 0011 & \Rightarrow & 53 & \Rightarrow & \mathrm{S} \\ 0101\ 0100 & \Rightarrow & 54 & \Rightarrow & \mathrm{T} \\ 0100\ 1111 & \Rightarrow & 4\mathrm{F} & \Rightarrow & \mathrm{O} \\ 0101\ 0000 & \Rightarrow & 50 & \Rightarrow & \mathrm{P} \end{cases}$$

(O acréscimo de um bit extra é denominado preenchimento com 0s.)

Bytes, nibbles e palavras

- **Bytes:** **Grupo de 8 bits**; geralmente, microcontroladores manipulam e armazenam informações em grupos de 8 bits.
- **Nibbles:** Usado para nomear **grupos de 4 bits** (e.g., em códigos BCD ou sistema de numeração hexadecimal).
- **Palavras:** Uma palavra (*word*) é um grupo de bits que representa uma unidade de informação, cujo comprimento depende da largura do barramento de dados (*pathway*).
  - **Exemplo:** um μC pode lidar com palavras de 8 bits enquanto um PC com 8 bytes (64 bits) de cada vez.

O termo 'nibble' ('mordiscar') é usado para representar
a metade do tamanho de um 'byte' (soa como 'bite', 'mordida').

Bytes, nibbles e palavras

Exemplo: Com respeito à bytes, nibbles e palavras, responda:

a) **Quantos bytes são necessários para representar 235_{10} em binário?**

b) **Qual é o maior valor decimal que pode ser representado em BCD, usando 2 bytes?**

c) **Um nibble representa quantos dígitos hexadecimais?**

d) **Quantos nibbles existem em um dígito BCD?**

Bytes, nibbles e palavras

Exemplo: Com respeito à bytes, nibbles e palavras, responda:

a) **Quantos bytes são necessários para representar 235_{10} em binário?**
R: Como $2^8 = 256$, é necessário apenas 1 byte.

b) **Qual é o maior valor decimal que pode ser representado em BCD, usando 2 bytes?**
R: Com dois bytes (16 bits), o maior valor em BCD é 9999_{10}.

c) **Um nibble representa quantos dígitos hexadecimais?**
R: Um nibble (4 bits) pode representar 1 dígito hexadecimal.

d) **Quantos nibbles existem em um dígito BCD?**
R: Um dígito BCD é representado por 4 bits, i.e., 1 nibble.

Resumo

- **A conversão de números decimais em binários ou hexadecimais pode ser realizado por divisões sucessivas.**
- **Com D dígitos em um sistema de numeração de base B, pode-se representar valores decimais de $\{0, \ldots, B^D - 1\}$.**
- Hexa versus binário: 1 dígito hexa corresponde a 4 bits.
- Código BCD para um número decimal é formado convertendo cada dígito decimal no equivalente binário de 4 bits.
- Código Gray define uma sequência de padrões de bits em que apenas um bit varia entre padrões de sequência sucessivos.
- Um código alfanumérico usa grupos de bits para representar caracteres e funções de um teclado típico.
- **Byte: 8 bits, Nibble: 4 bits** e Palavra: depende do sistema.

Considerações finais

Exercícios sugeridos:

2.1-2.7, 2.10, 2.15, 2.16, 2.19-2.22, 2.37 e 2.40

de R.J. Tocci, N.S. Widmer, G.L. Moss, *Sistemas digitais: princípios e aplicações,* 12a ed., São Paulo: Pearson, 2019. $\longrightarrow$ (Capítulo 2)

Para a próxima aula:

R.J. Tocci, N.S. Widmer, G.L. Moss, *Sistemas digitais: princípios e aplicações,* 12a ed., São Paulo: Pearson, 2019. $\longrightarrow$ (Capítulo 3)

Até a próxima aula... =)