

# 計算機システムの基礎 (第5回配布)

## 第2章 データ表現

- (1) 数値データ (numeric data)  
整数 (integer), 浮動小数点数 (floating point number) 等
- (2) 非数値データ (nonnumeric data)  
文字コード、論理データ、制御コードなど

担当: 福井大学 大学院工学研究科  
情報・メディア工学専攻  
森 真一郎 (moris@u-fukui.ac.jp)

### [レポート課題] (2の補数表現を用いた負数の表現と計算)

- (1) 2進数4桁表記で2の補数表現で表された、以下の数値を10進数に変換せよ。  
(a) 1001      (b) 1111      (c) 0111      (d) 1000
- (2) 次の符号付10進数を2の補数表現を用いて2進数4桁で表現せよ。  
(a) 6      (b) -2      (c) -6
- (3) 2進数の減算は2の補数表現を用いることで「ビット反転」と「加算」のみで計算が可能である。この性質をもちいて、10進数で表現された数式を、2進数4桁の2の補数表現に変換したのち、加算のみで計算せよ。求めた結果 (2の補数表現であることを注意) を10進数に変換せよ。  
(a)  $3+2$       (b)  $-7+4$       (c)  $(-2)-4$       (d)  $5+4$

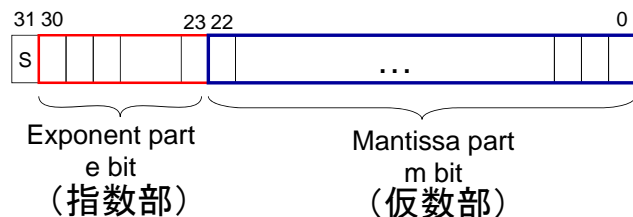
(A4 レポート用紙提出のこと。表紙をつける必要はないが、1枚目の上側余白に学生番号、氏名を記入のこと

## 4. 浮動小数点数

### • 浮動小数点表現の基本概念

- 正規化表現  $[(-1)^s \times M \times 2^E]$  形式  
(科学記数法 [有効桁数が重要])
- 整数部1桁 (0以外の数値) + 小数部k桁 (以下はk=5の例)  
 $1.00111 \times 2^4$        $-1.10100 \times 2^3$        $1.01011 \times 2^{-120}$

### 32bit浮動小数点表現の例



## 4. 浮動小数点数

### • IEEE754 32ビット (単精度) 浮動小数点表現

$$(-1)^S \times 1.F \times 2^{E-127}$$



E, Fともに (見かけ上) 符号無し整数として操作可能

## 4. 浮動小数点数

### IEEE 32ビット浮動小数点表現

$$(-1)^S \times 1.F \times 2^{E-127}$$

指数部 E (10進数)	バイアス	指数表現 (e)
11111111 (255)	-127	128 無限大, 非数
11111110 (254)		127
⋮		⋮
10000000 (128)		1 通常数の表現は この範囲を使用
⋮		⋮
00000001 ( 1)		-126
00000000 ( 0)		-127 ゼロ, 非正規化数

図 5.4 指数部の表現 (通称: 下駄履き表現)

5

## 実数の表現(2進数表記)

### IEEE 32ビット浮動小数点表現

$$(-1)^S \times 1.F \times 2^{E-127}$$

「固定小数点表現」に対する利点・欠点は？  
 ⇒ 表現可能な実数の範囲(ダイナミックレンジ)が広い  
 ⇒ 有効数字の桁数が少ない  
 ⇒ 加減算では毎回桁合わせが必要

「下駄履き表現」の利点は？  
 ⇒ 浮動小数点表現された実数の大小比較が  
 指数部Eを符号無し整数とみなした  
 比較で可能になる。

6

## 実数の表現(2進数表記)

### IEEE 32ビット浮動小数点表現

$$(-1)^S \times 1.F \times 2^{E-127}$$

e の値	数の表現
e = 128	F = 0 のとき $(-1)^S \infty$ F ≠ 0 のとき 非数 NaN
e = 127 ~ -126	$(-1)^S (1.F) \times 2^e$
e = -127	F = 0 のとき $(-1)^S 0$ F ≠ 0 のとき $(-1)^S 2^{-126} (0.F)$ 非正規化数

図 5.5 IEEE 形式浮動小数点数の表現 (32bit)

7

## 実数の表現(2進数表記)

### IEEE 32ビット浮動小数点表現

$$(-1)^S \times 1.F \times 2^{E-127}$$

正規化数として表現できる  
 (絶対値が)最も小さな値 .....  $1.0 \times 2^{-126}$   
 (絶対値が)最も大きな値 .....  $(2.0 - 2^{-23}) \times 2^{127}$

非正規化数を用い表現できる  
 (絶対値が)最も小さな値 .....  $1.0 \times 2^{-149}$   
 (絶対値が)最も大きな値 .....  $(1.0 - 2^{-23}) \times 2^{127}$

e の値	数の表現
e = 128	F = 0 のとき $(-1)^S \infty$ F ≠ 0 のとき 非数 NaN
e = 127 ~ -126	$(-1)^S (1.F) \times 2^e$
e = -127	F = 0 のとき $(-1)^S 0$ F ≠ 0 のとき $(-1)^S 2^{-126} (0.F)$ 非正規化数

図 5.5 IEEE 形式浮動小数点数の表現

8

# 実数の表現(2進数表記)

## IEEE 64ビット浮動小数点表現

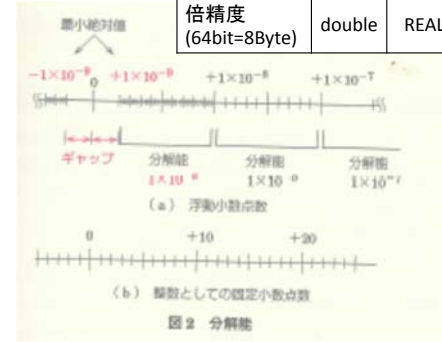
$$(-1)^S \times 1.F \times 2^{E-1023}$$



# 4. 浮動小数点数

## プログラム言語での宣言

	C言語	FORTRAN	(正規化数として)表現可能な		仮数部の有効桁数
			絶対値最大の数	絶対値最小の数	
単精度 (32bit=4Byte)	float	REAL	$(2.0-2^{-23}) \times 2^{127}$	$1.0 \times 2^{-126}$	7
倍精度 (64bit=8Byte)	double	REAL*8	$(2.0-2^{-52}) \times 2^{1023}$	$1.0 \times 2^{-1022}$	15

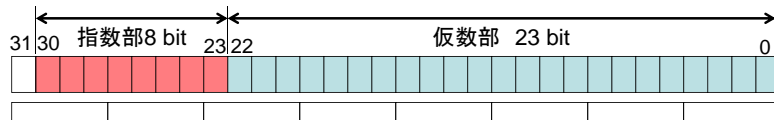


$$2^{23} = 2^3 \times 2^{10} \times 2^{10} = 8 \times 1024 \times 1024$$

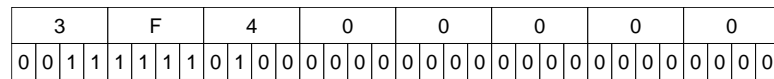
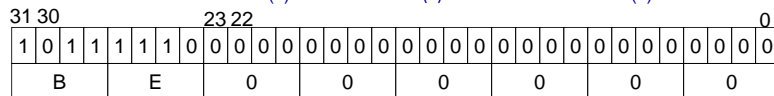
$$2^{52} = 2^2 \times 2^{50} = 4 \times (1024)^5$$

## IEEE 32ビット浮動小数点表現 (具体例)

$$(-1)^S \times 1.F \times 2^{E-127}$$



$$-0.125 = (-1)^1 \times 0.001_{(2)} = (-1)^1 \times 1.0_{(2)} \times 2^{-3} = (-1)^1 \times 1.0_{(2)} \times 2^{124-127}$$



$$(-1)^0 \times 1.1_{(2)} \times 2^{126-127} = 1.1_{(2)} \times 2^{-1} = 0.11_{(2)} = 0.5 + 0.25 = 0.75$$

$$( = 11_{(2)} \times 2^{-2} = 3 \times 0.25 = 0.75 ) \text{ と考えてもOK}$$

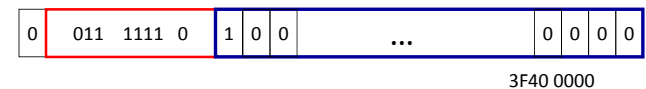
1は  $0.125 \times 8 = 0.125 \times 2^3$       2.5は  $5 \times 0.5 = 5 \times 2^{-1}$

## IEEE 32ビット浮動小数点表現(具体例)

$$(-1)^S \times 1.F \times 2^{E-127}$$



$$0.75_{(10)} = 0.5_{(10)} + 0.25_{(10)} = 0.11_{(2)} = (-1)^0 \times 1.1 \times 2^{126-127}$$



$$5.0_{(10)} = 101.0_{(2)} = (-1)^0 \times 1.01 \times 2^{129-127}$$

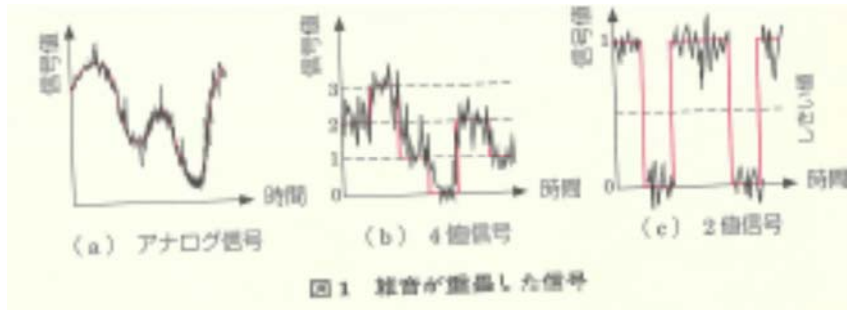


40A0 0000

## 5. データ表現の長所と問題点

### 2進数が用いられている理由

信頼性、経済性  
 情報理論的側面 .... 本当は e進数がベスト!  
 演算時の回路設計の容易さ



## 5. データ表現の長所と問題点

### 有限桁の問題

#### [1]丸め誤差

$$1.01 \times 2^5 + 1.00 \times 2^2 = 1.011 \times 2^4$$

ただけ....

計算前後で有効桁数を変えることはできない!

- (a)絶対値の小さい値に丸める
- (b)絶対値の大きい値に丸める
- (c)切り捨てて丸める
- (d)四捨五入を行ない丸める

.....

例えば先週でてきた 循環小数の打ち切り誤差も この部類

$$0.725d = 0.1011100\dot{0}$$

#### [2]桁落ち

絶対値がほぼ等しく符号が同じで丸め誤差を持つ数字同士の減算

$$1.001 \times 2^5 - 1.000 \times 2^5 = 1.000 \times 2^2$$

ただけ....

右辺は正規化のために1.000とかけられているが**少数点以下の3桁**は便宜上埋めただけで、誤差を含んでいる

#### [3]情報落ち

絶対値が大きな数Aと絶対値が小さな数Bの加減算の結果Bが無視されてしまう。

有効桁数3桁の場合  
 $(1.01 \times 2^5 + 1.00 \times 2^1) - 1.01 \times 2^5 = 1.00 \times 2^1$   
 とはならず 結果は 0 になってしまう。

( )内を計算した時点で B に相当する部分が丸められてしまう。

## 6. コード

### 計算機内での文字コード

#### ASCIIコード

半角英数、記号、制御文字を表現する7bitコード

#### 漢字コード

日本語文字を表現するための2バイト(16bit)コードJIS7(JIS)、JIS8(SJIS)、EUC(Extended Unix Code)等の複数の符号化方式が混在して使われています。

(メール等では、従来はJIS7を使用することを推奨)

#### UNICODE

世界中の言語を1つのコード体系で表現しようと試みたプロジェクト (UTF8など)

表1 JIS8ビットのコード表

		上段4ビット															
		00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E	0F
下段4ビット	00	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL
	01	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL
	02	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL
	03	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL
	04	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL
	05	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL
	06	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL
	07	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL
	08	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL
	09	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL
	0A	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL
	0B	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL
	0C	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL
	0D	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL
	0E	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL
	0F	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL	SP	DEL

## 6. コード

### その他の文字コード

#### 2進化10進コード

(BCD: Binary Coded Decimal)

10進数1桁 を 2進数4桁 を用いて表すコード

10進数	BCDコード
0	0000
1	0001
2	0010
3	0011
4	0100
5	0101
6	0110
7	0111
8	1000
9	1001

#### グレイコード

隣り合うコードで0と1が異なる場所が つねに1箇所だけとなるように符合を割り当てたコード

10進数	グレイコード (例)
0	000
1	001
2	011
3	010
4	110
5	111
6	101
7	100

# 6. コード

## 誤り検出・訂正が可能なコード

### パリティ符号

元の符号に、パリティ情報(1の数の偶奇に関する情報)を付加して、1ビットの誤りを検出可能な符号

10進数	BCDコード	偶パリティ付 BCDコード
0	0000	00000
1	0001	00011
2	0010	00101
3	0011	00110
4	0100	01001
5	0101	01010
6	0110	01100
7	0111	01111
8	1000	10001
9	1001	10010

### ハミングコード

元の符号に、付加情報を追加して、1ビットの誤り訂正(Error Correction)を可能にした符号

(4,7)符号の例

7	6	5	4	3	2	1	
D <sub>7</sub>	D <sub>6</sub>	D <sub>5</sub>	P <sub>4</sub>	D <sub>3</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>1</sub>	How to calculate parity bits
This represents the full codeword							
D <sub>7</sub>	D <sub>6</sub>	D <sub>5</sub>	P <sub>4</sub>				P <sub>4</sub> - Even parity of D <sub>7</sub> D <sub>6</sub> D <sub>5</sub>
D <sub>7</sub>	D <sub>6</sub>			D <sub>3</sub>	P <sub>2</sub>		P <sub>2</sub> - Even parity of D <sub>7</sub> D <sub>6</sub> D <sub>3</sub>
D <sub>7</sub>		D <sub>5</sub>		D <sub>3</sub>		P <sub>1</sub>	P <sub>1</sub> - Even parity of D <sub>7</sub> D <sub>5</sub> D <sub>3</sub>

(2,5)符号の例

00000 (0)	00001	00101	00100	10000	10001	10101	10100
00010	00011	00111	00110	10010	10011	10111	10110
00100	00101	01111	01110	11010 <br/ (2)	11011	11111	11110
01100	01101	01101	01100	11100	11101	11101	11100