



目录

1

基本算数运算的实现

2

定点加减运算

3

带符号数的移位和舍入操作

4

定点乘法运算

5

定点除法运算

6

规格化浮点运算

7

十进制整数的加法运算

8

逻辑运算与实现

9

运算器的基本组成与实例



- 设两个非0的规格化浮点数分别为

- $A = M_A \times 2^{E_A}$

- $B = M_B \times 2^{E_B}$

- $A \pm B = (M_A, E_A) \pm (M_B, E_B) =$

$$(M_A \pm M_B \times 2^{-(E_A - E_B)}, E_A) \quad E_A > E_B$$

$$(M_A \times 2^{-(E_B - E_A)} \pm M_B, E_B) \quad E_A < E_B$$





- 浮点数加减运算步骤
 - (1) 对阶
 - (2) 尾数运算
 - (3) 尾数规格化
 - (4) 舍入
 - (5) 判溢出





4.6.1 浮点数加减运算

- 浮点数加减运算举例

- 求以下有两浮点数的和。

$$A=0.101110 \times 2^{-01}$$

$$B=-(0.101011) \times 2^{-10}$$

- 假设这两数的格式：阶码4位，用移码表示（偏置值为 2^3 ）；尾数8位，用补码表示，包含一位符号位，即

| E | m_s | m |
|---|-------|---|
|---|-------|---|

$$[A]_{\text{浮}}=0111; 0.1011100$$

$$[B]_{\text{浮}}=0110; 1.0101010$$





- (1) 对阶
 - 两个浮点数相加或相减，首先要把小数点的位置对齐，而浮点数的小数点的实际位置取决于阶码的大小。因此，对齐两数的小数点，就是使两数的阶码相等，这个过程称为对阶。
 - 要对阶，首先应求出两数阶码 E_A 和 E_B 之差，即： $\Delta E = E_A - E_B$
 - 对阶的规则是：小阶向大阶看齐。
 - 采用这一规则的原因是当阶码小的数的尾数右移并相应增加阶码时，舍去的仅是尾数低位部分，误差比较小。要使小阶的阶码增大，则相应的尾数右移，直到两数的阶码相等为止。对于 $r=2$ ，每右移一位，阶码加1。





4.6.1

浮点数加减运算

- (2) 尾数加/减

- 对阶之后，就可以进行尾数加/减，即 $M_A \pm M_B \rightarrow M_C$





- (3) 尾数规格化

- 尾数加/减运算之后得到的数可能不是规格化数，为了增加有效数字的位数，提高运算精度，必须进行结果规格化操作。

- 规格化的尾数M应满足：

$$1/2 \leq |M| < 1$$

- 设尾数用双符号位补码表示，经过加/减运算之后，可能出现以下六种情况：

- ✕ ① 00.1 x x ... x

- ✕ ② 11.0 x x ... x

- ✕ ③ 00.0 x x ... x

- ✕ ④ 11.1 x x ... x

- ✕ ⑤ 01.x x x ... x

- ✕ ⑥ 10.x x x ... x

- ✕ 第①、②种情况，已是规格化数。





4.6.1 浮点数加减运算

- ③ 00.0 X X ... X
- ④ 11.1 X X ... X
- 第③、④种情况需要使尾数左移以实现规格化，该过程称为左规。
- 尾数每左移一位，阶码相应减1（ $E_C - 1 \rightarrow E_C$ ），直至成为规格化数为止。（左规可能需进行多次）只要满足下列条件：
- 左规 = $\overline{C_{s1}} \overline{C_{s2}} \overline{C_1} + C_{s1} C_{s2} C_1$





4.6.1 浮点数加减运算

- ⑤ $01.x\ x\ x\ \dots\ x$
- ⑥ $10.x\ x\ x\ \dots\ x$
- 第⑤、⑥种情况应将尾数右移以实现规格化。这个过程称为右规。
尾数每右移一位，阶码相应加1（ $E_C + 1 \rightarrow E_C$ ），。（右规最多进行一次）右规的条件如下：
- 右规 = $C_{s1} \oplus C_{s2}$



4.6.1 浮点数加减运算



- (4) 舍入
 - 由于受到硬件的限制，在对阶和右规处理之后有可能将尾数的低位丢失，这会引起一些误差。舍入方法已在前面做过介绍，这里不再赘述。





- (5) 溢出判断
 - 浮点数的溢出情况由阶码的符号决定，若阶码也用双符号位补码表示，当：
 - $[E_C]_{\text{补}} = 01, x \ x \ x \ \dots \ x$ ，表示上溢。此时，浮点数真正溢出，机器需停止运算，做溢出中断处理。
 - $[E_C]_{\text{补}} = 10, x \ x \ x \ \dots \ x$ ，表示下溢。浮点数值趋于零，机器不做溢出处理，而是按机器零处理。





4.6.1 浮点数加减运算

- 浮点数加减运算举例

- 求以下有两浮点数的和。

$$A=0.101110 \times 2^{-01}$$

$$B=-(0.101011) \times 2^{-10}$$

- 假设这两数的格式：阶码4位，用移码表示（偏置值为 2^3 ）；尾数8位，用补码表示，包含一位符号位，即



$$[A]_{\text{浮}} = 0111; 0.1011100$$

$$[B]_{\text{浮}} = 0110; 1.0101010$$





4.6.1 浮点数加减运算

- (1)对阶
 - 求阶差： $\Delta E = E_A - E_B = -1 - (-2) = 1$
 - $\Delta E = 1$ ，表示 $E_A > E_B$ 。按对阶规则，将MB右移一位，其阶码加1，得：
 - $[B]_{\text{浮}}' = 0111; 1.1010101$
- (2)尾数求和

$$\begin{array}{r} 00.1011100 \\ + 11.1010101 \\ \hline 00.0110001 \end{array}$$





- (3)尾数结果规格化

- 由于结果的尾数是非规格化的数，故应左规。尾数每左移一位，阶码减1，直至尾数成为规格化数为止。

$$[A+B]_{\text{尾补}} = 00.0110001$$

$$[A+B]_{\text{尾补}}' = 00.1100010 \times 2^{-01}$$

- 最后结果为

$$[A+B]_{\text{浮}}' = 0110 ; 0.1100010$$

$$\therefore A+B = (0.110001) \times 2^{-10}$$

- 无需舍入，不溢出





- 设两个非0的规格化浮点数分别为

$$A = M_A \times 2^{E_A}$$

$$B = M_B \times 2^{E_B}$$

- 则浮点乘法和除法为

$$A \times B = (M_A \times M_B) \times 2^{(E_A + E_B)}$$

$$A \div B = (M_A \div M_B) \times 2^{(E_A - E_B)}$$





- 乘法步骤
 - (1)阶码相加
 - ⌘ 两个浮点数的阶码相加，当阶码用移码表示的时候，应注意要减去一个偏置值 $2n$ 。
 - (2)尾数相乘
 - ⌘ 与定点小数乘法算法相同。
 - (3)尾数结果规格化
 - ⌘ 因为 $1/2 < |M_A| < 1$ ， $1/2 < |M_B| < 1$ ，所以 $1/4 < |M_A \times M_B| < 1$ 。





- 除法步骤

- (1)尾数调整

- ⌘ 首先须要检测 $|M_A| < |M_B|$ 。如果不小于，则 M_A 右移一位， $E_A+1 \rightarrow E_A$ ，称为尾数调整。

- 因为A、B都是规格化数，所以最多调整一次。

- (2)阶码相减

- ⌘ 两浮点数的阶码相减，当阶码用移码表示时，应注意要加上一个偏置值 2^n 。

- (3)尾数相除

- ⌘ 与定点小数除法算法相同。



课堂习题



- 1. 在浮点补码二进制加减运算中，当尾数部分出现01.××...×时和10.××...×形式时，需进行右规；此时尾数每右移一位，阶码加1。
- 2. 在浮点补码二进制加减运算中，当尾数部分出现00.0×...×时和11.1×...×形式时，需进行左规；此时尾数每左移一位，阶码减1。
- 3. 在浮点加减运算中，对阶时需小阶向大阶看齐，即小阶的尾数向右移位，每移一位，阶码加1，直到 $E_A = E_B$ 为止。





- 4. (2009)浮点数加减运算过程一般包括对阶、尾数运算、规格化、舍入和判溢出步骤。设浮点数的阶码和尾数均采用补码表示，且位数分别为 5 位和 7 位(均含 2 位符号位).若有两个数 $X=2^7 \times 29/32, Y=2^5 \times 5/8$ ，则用浮点加法计算 $X+Y$ 的最终结果是

(D)

(A)00111 1100010

(B)00111 0100010

(C)01000 0010001

(D)发生溢出





目录

1

基本算数运算的实现

2

定点加减运算

3

带符号数的移位和舍入操作

4

定点乘法运算

5

定点除法运算

6

规格化浮点运算

7

十进制整数的加法运算

8

逻辑运算与实现

9

运算器的基本组成与实例



- 1.8421码加法运算

- 因为一位8421码用四位二进制数表示，所以8421码十位数的“1”是个位数的进位。按四位二进制数而言，这个进位的值是16，而不是8421码的10。因此，必须+6校正，才能使该进位正确。8421码的加法规则：

- ✎ ①两个8421码相加时，“逢二进一”；
 - ✎ ②当和 ≤ 9 ，无需校正；
 - ✎ ③当和 > 9 ，则+6校正；
 - ✎ ④在做+6校正的同时，将产生向上一位的进位。





4.7.1

一位十进制加法运算

| 十进制数 | 8421码 C4S4S3S2S1 | 校正前的二进制数 C4'S4'S3'S2'S1' | 校正与否 |
|--|--|--|------|
| 0 9 | 0 0000 0 1001 | 0 0000 0 1001 | 不校正 |
| 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 | 1 0000 1 0001 1 0010 1 0011 1 0100 1 0101 1 0110 1 0111 1 1000 1 1001 | 0 1010 0 1011 0 1100 0 1101 0 1110 0 1111 1 0000 1 0001 1 0010 1 0011 | +6校正 |

+6校正函数=
 $C4' + S4'S3' + S4'S2'$





- 2. 余3码加法运算

- 十进制余3码加法规则：

- ✕ ①两个余3码相加，“逢二进一”；
 - ✕ ②若其和没有进位，则减3（即+1101）校正；
 - ✕ ③若其和有进位，则加3（即+0011）校正。





4.7.1

一位十进制加法运算

| 十进制数 | 余3码 C4S4S3S2S1 | 校正前的二进制数 C4'S4'S3'S2'S1' | 校正与否 |
|------|-------------------|-----------------------------|------|
| 0 | 0 0011 | 0 0110 | -3校正 |
| 1 | 0 0100 | 0 0111 | |
| | | | |
| 8 | 0 1011 | 0 1110 | |
| 9 | 0 1100 | 0 1111 | |
| 10 | 1 0011 | 1 0000 | +3校正 |
| 11 | 1 0100 | 1 0001 | |
| | | | |
| 18 | 1 1011 | 1 1000 | |
| 19 | 1 1100 | 1 1001 | |

-3校正函数=C4'

+3校正函数=C4'





目录

1

基本算数运算的实现

2

定点加减运算

3

带符号数的移位和舍入操作

4

定点乘法运算

5

定点除法运算

6

规格化浮点运算

7

十进制整数的加法运算

8

逻辑运算与实现

9

运算器的基本组成与实例



- 逻辑运算比算术运算要简单得多，这是因为逻辑运算是按位进行的，位与位之间没有进位/借位的关系。
 - 1.逻辑非
 - ✎ 逻辑非又称求反操作，它对某个寄存器或主存单元中各位代码按位取反。
 - 2.逻辑乘 ■
 - ✎ 逻辑乘就是将两个寄存器或主存单元中的每一相应位的代码进行“与”操作。
 - 3.逻辑加 ■
 - ✎ 逻辑加就是将两个寄存器或主存单元中的每一相应位的代码进行“或”操作。
 - 4.按位异或
 - ✎ 按位异或是计算机中一个特定的逻辑操作，它对寄存器或主存单元中各位的代码求模2和，又称模2加或半加，也叫异或。





目录

1

基本算数运算的实现

2

定点加减运算

3

带符号数的移位和舍入操作

4

定点乘法运算

5

定点除法运算

6

规格化浮点运算

7

十进制整数的加法运算

8

逻辑运算与实现

9

运算器的基本组成与实例



- 运算器是在控制器的控制下实现其功能的，运算器不仅可以完成数据信息的算逻运算，还可以作为数据信息的传送通路。



4.9.1 运算器的结构



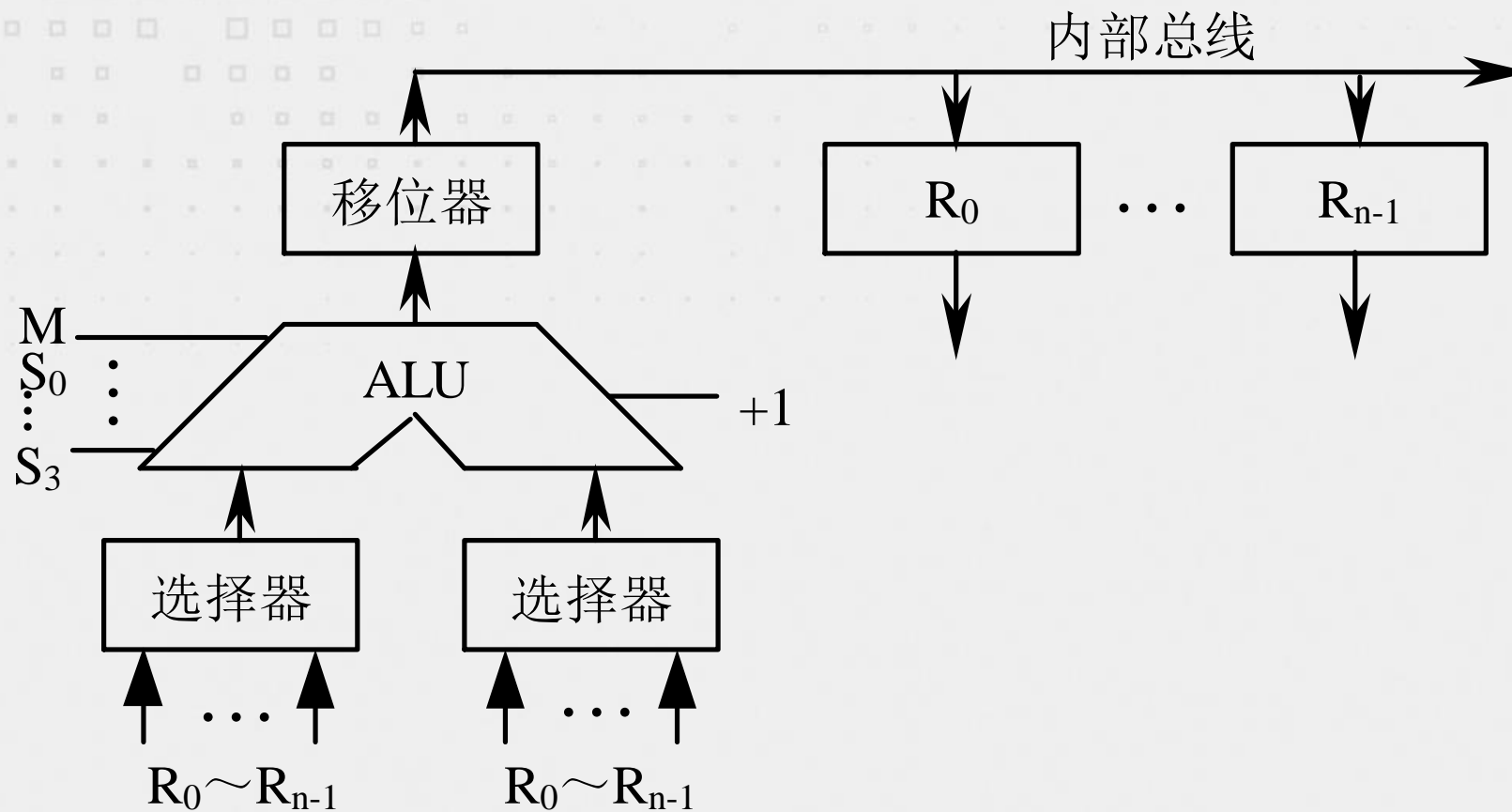
- 1.运算器的基本组成
 - 基本的运算器包含以下几个部分：
 - ⌘ 实现基本算术、逻辑运算功能的ALU，
 - ⌘ 提供操作数与暂存结果的寄存器组，
 - ⌘ 有关的判别逻辑和控制电路等。





4.9.1 运算器的结构

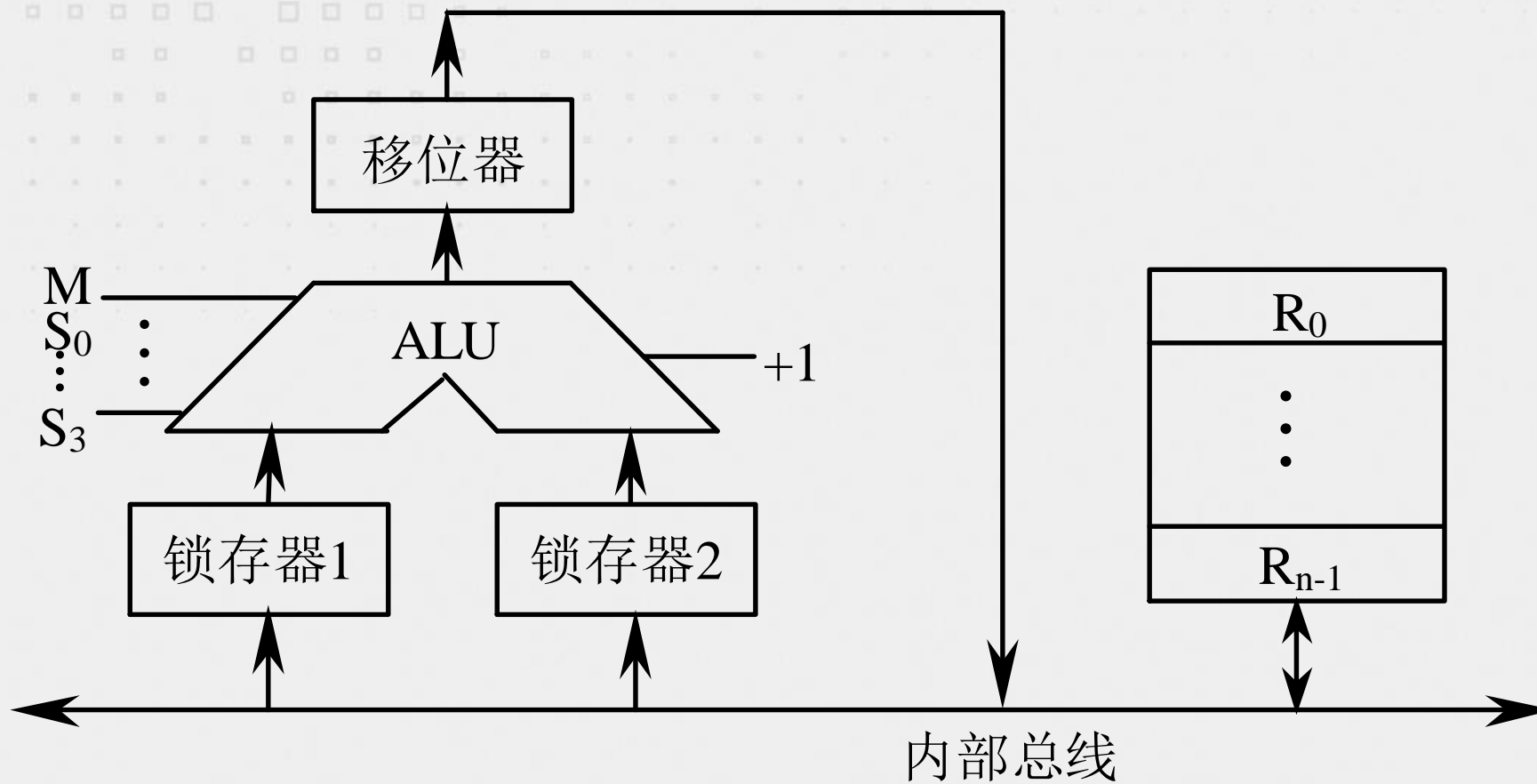
- 带多路选择器的运算器





4.9.1 运算器的结构

- 带输入锁存器的运算器





4.9.1

运算器的结构

- 2.运算器的内部总线结构
 - (1)单总线结构运算器
 - ✕ 运算器实现一次双操作数的运算需要分成三步。



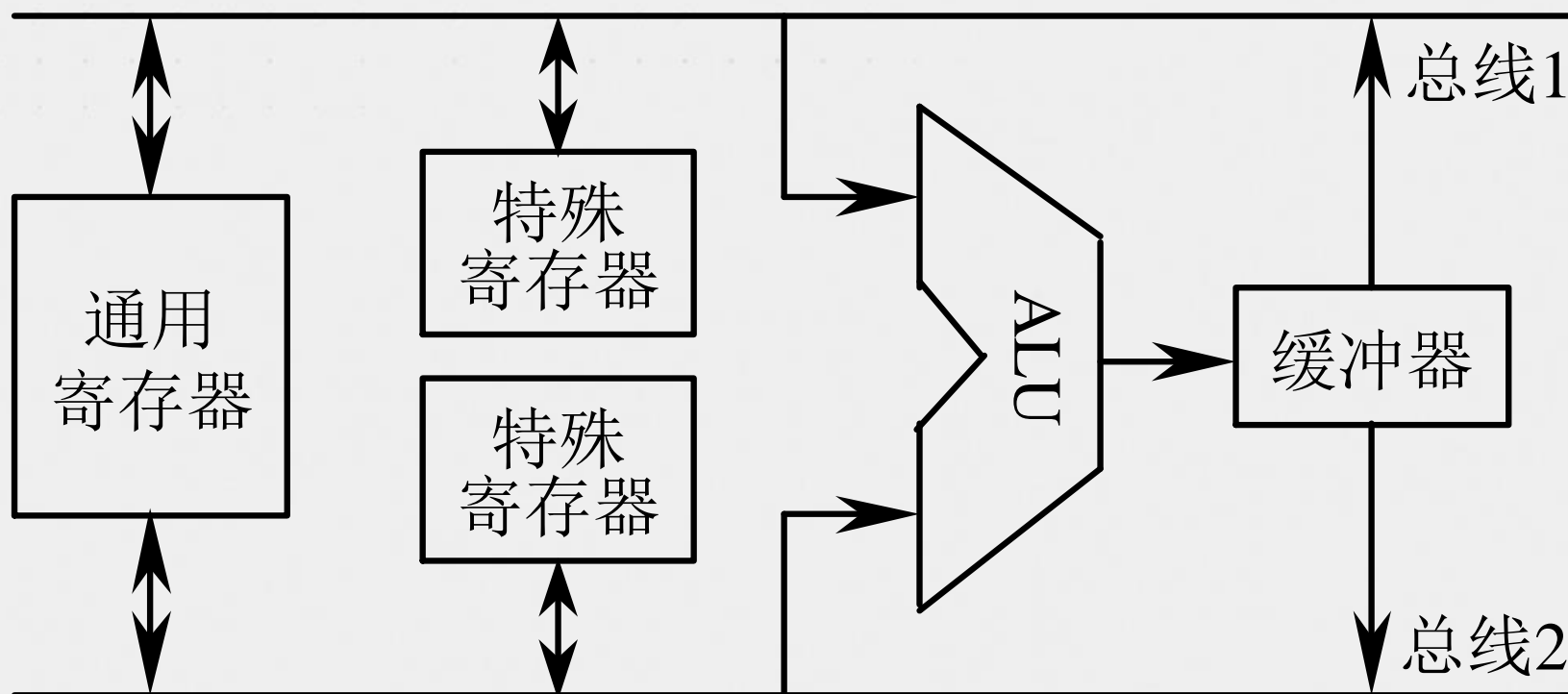


4.9.1 运算器的结构

- 2. 运算器的内部总线结构

- (2) 双总线结构运算器

- 运算器实现一次双操作数的运算需要两步。



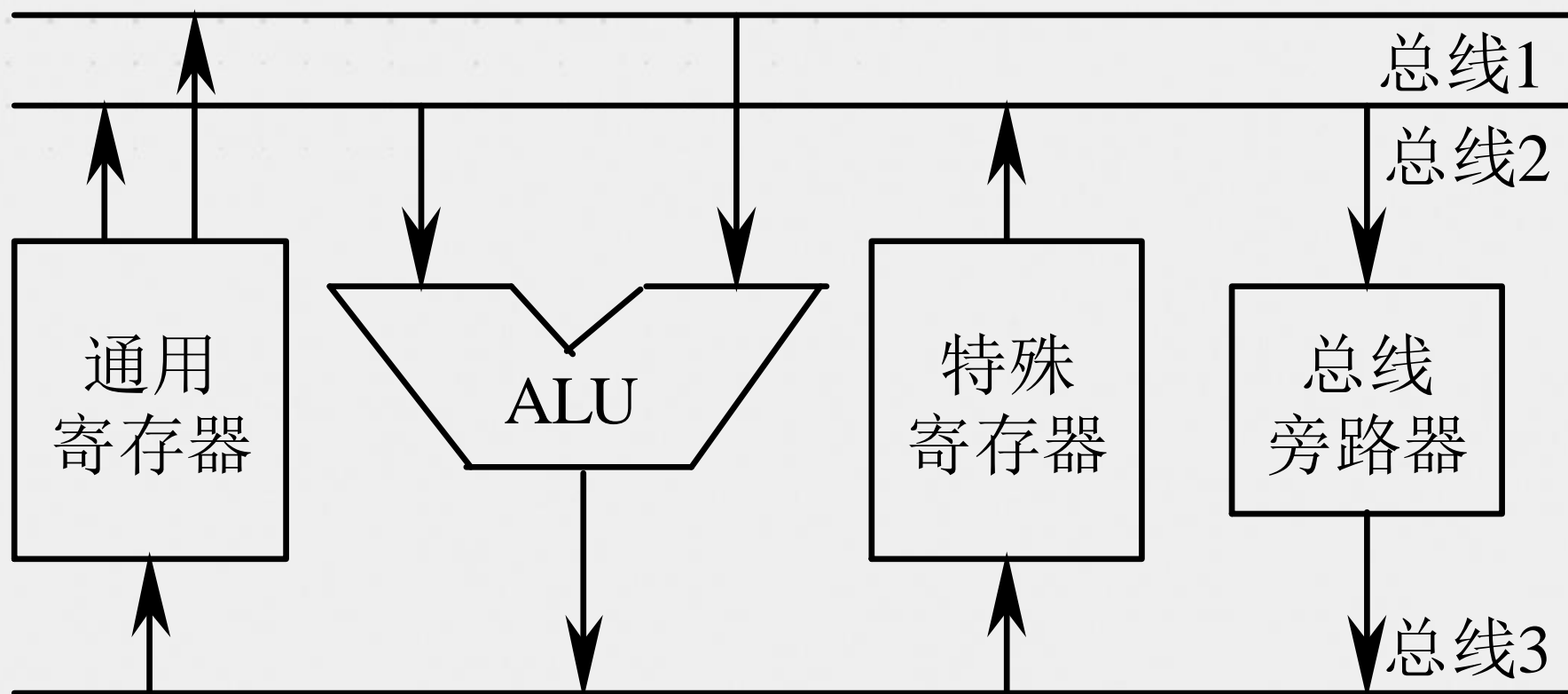


4.9.1 运算器的结构

- 2. 运算器的内部总线结构

- (3) 三总线结构运算器

✎ 实现一次双操作数的运算仅需要一步。





- 1. ALU电路

- ALU即算术逻辑单元，它是既能完成算术运算又能完成逻辑运算的部件。
无论是加、减、乘、除运算，最终都能归结为加法运算。
- 因此，ALU的核心首先应当是一个并行加法器，同时也能执行像“与”、“或”、“非”、“异或”这样的逻辑运算。由于ALU能完成多种功能，所以ALU又称多功能函数发生器。





- 2.4位ALU芯片

- 74181是四位算术逻辑运算部件（ALU），又称多功能函数发生器，能执行16种算术运算和16种逻辑运算。

- ✧ A_0 、 $B_0 \sim A_3$ 、 B_3 ：操作数输入端；
 - ✧ $F_0 \sim F_3$ ：输出端；
 - ✧ C_n' ：进位输入端；
 - ✧ C_{n+4}' ：进位输出端；
 - ✧ G^* ：组进位产生函数输出端；
 - ✧ P^* ：组进位传递函数输出端；
 - ✧ M ：工作方式， $M=0$ 为算术操作， $M=1$ 为逻辑操作；
 - ✧ $S_0 \sim S_3$ ：功能选择线。



4.9.2 ALU举例

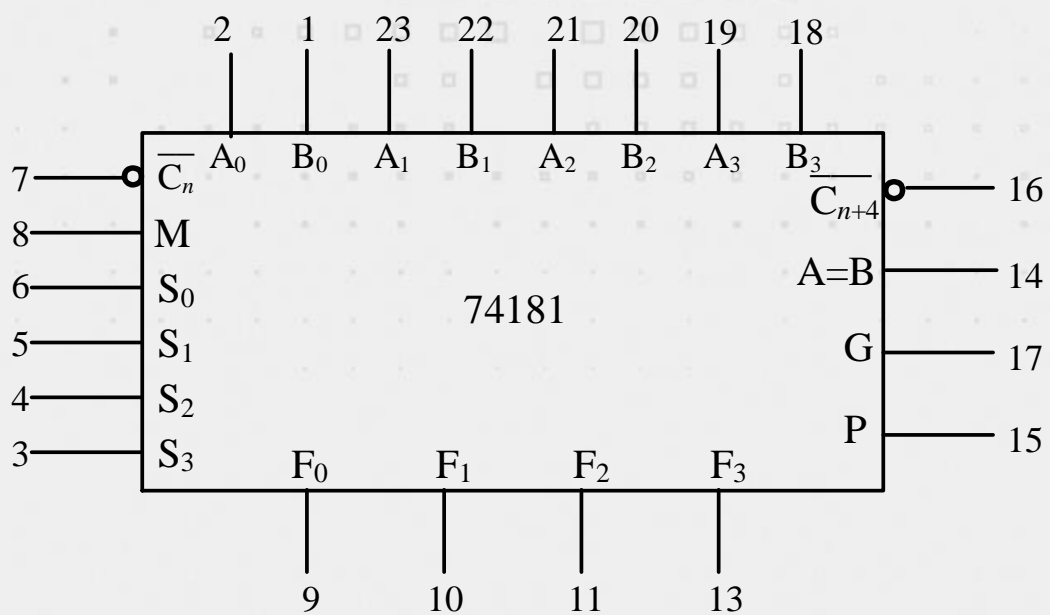


- 2.4位ALU芯片
 - 74181是四位算术逻辑运算部件（ALU），又称多功能函数发生器，能执行16种算术运算和16种逻辑运算。
 - 74181的4位作为一个小组，组间既可以采用串行进位，也可以采用并行进位。
 - 当采用组间串行进位时，只要把前片的 C_{n+4} 与下一片的 C_n 相连即可。

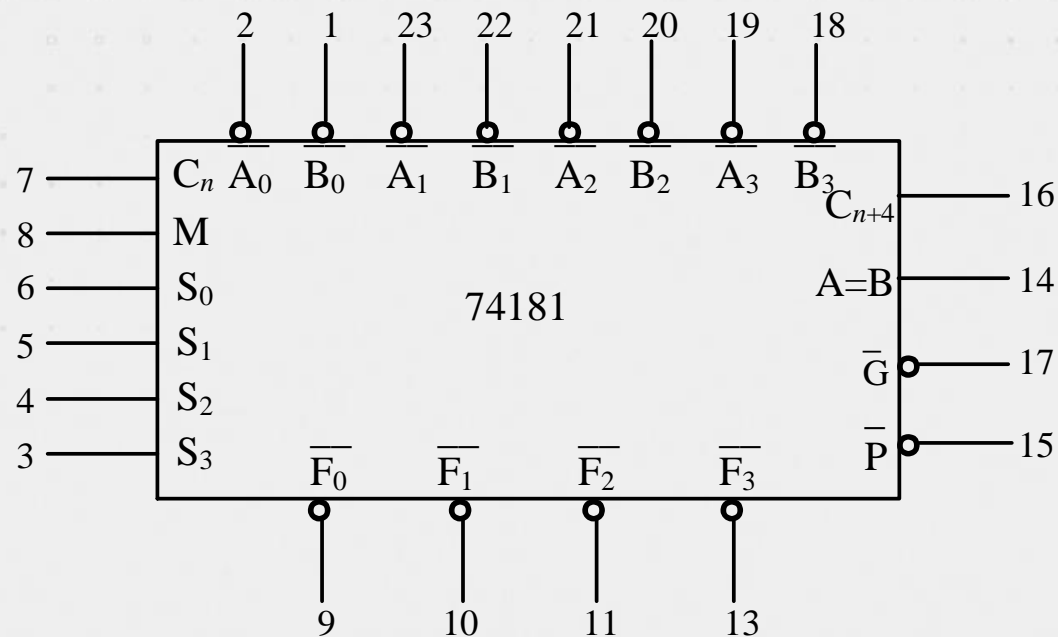




4.9.2 ALU举例



(a)



(b)



4.9.2

ALU举例

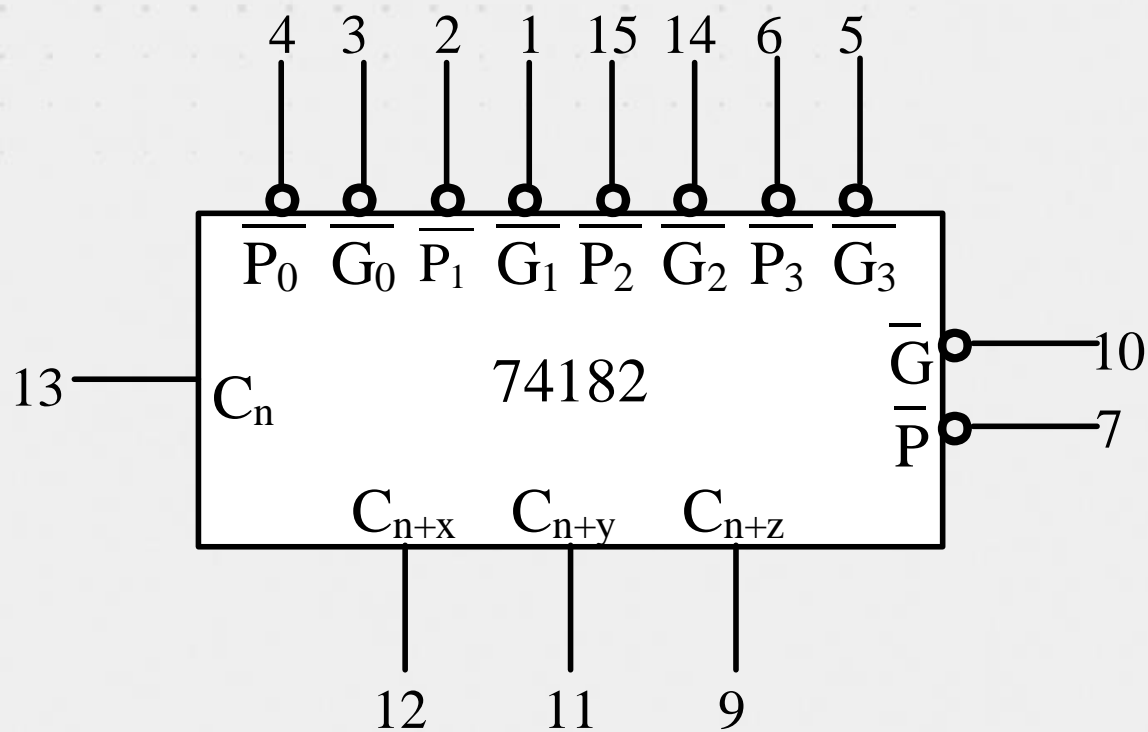
| 工作选择 $S_3S_2S_1S_0$ | 负逻辑 | | | 正逻辑 | | |
|------------------------|--------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------|--|--|
| | 逻辑运算 ($M=1$) | 算术运算 ($M=0$) $C_n=0$ (无进位) | 算术运算 ($M=0$) $C_n=1$ (无进位) | 逻辑运算 ($M=1$) | 算术运算 ($M=0$) $\overline{C_n}=1$ (无进位) | 算术运算 ($M=0$) $\overline{C_n}=0$ (无进位) |
| 0000 | $F=\overline{A}$ | $F=A$ 减 1 | $F=A$ | $F=\overline{A}$ | $F=A$ | $F=A$ 加 1 |
| 0001 | $F=\overline{AB}$ | $F=AB$ 减 1 | $F=AB$ | $F=\overline{A+B}$ | $F=A+B$ | $F=(A+B)$ 加 1 |
| 0010 | $F=\overline{A}+B$ | $F=A\overline{B}$ 减 1 | $F=A\overline{B}$ | $F=\overline{A}B$ | $F=A+\overline{B}$ | $F=(A+\overline{B})$ 加 1 |
| 0011 | $F=1$ | $F=\text{减 } 1$ | $F=0$ | $F=0$ | $F=\text{减 } 1$ | $F=0$ |
| 0100 | $F=\overline{A+B}$ | $F=A$ 加 $(A+\overline{B})$ | $F=A$ 加 $(A+\overline{B})$ 加 1 | $F=\overline{AB}$ | $F=A$ 加 $A\overline{B}$ | $F=A$ 加 $A\overline{B}$ 加 1 |
| 0101 | $F=\overline{B}$ | $F=AB$ 加 $(A+\overline{B})$ | $F=AB$ 加 $(A+\overline{B})$ 加 1 | $F=\overline{B}$ | $F=(A+B)$ 加 $A\overline{B}$ | $F=(A+B)$ 加 $A\overline{B}$ 加 1 |
| 0110 | $F=\overline{A\oplus B}$ | $F=A$ 减 B 减 1 | $F=A$ 减 B | $F=A\oplus B$ | $F=A$ 减 B 减 1 | $F=A$ 减 B |
| 0111 | $F=A+\overline{B}$ | $F=A+\overline{B}$ | $F=(A+\overline{B})$ 加 1 | $F=A\overline{B}$ | $F=A\overline{B}$ 减 1 | $F=A\overline{B}$ |
| 1000 | $F=\overline{A}B$ | $F=A$ 加 $(A+B)$ | $F=A$ 加 $(A+B)$ 加 1 | $F=\overline{A}+B$ | $F=A$ 加 AB | $F=A$ 加 AB 加 1 |
| 1001 | $F=A\oplus B$ | $F=A$ 加 B | $F=A$ 加 B 加 1 | $F=\overline{A\oplus B}$ | $F=A$ 加 B | $F=A$ 加 B 加 1 |
| 1010 | $F=B$ | $F=A\overline{B}$ 加 $(A+B)$ | $F=A\overline{B}$ 加 $(A+B)$ 加 1 | $F=B$ | $F=(A+\overline{B})$ 加 AB | $F=(A+\overline{B})$ 加 AB 加 1 |
| 1011 | $F=A+B$ | $F=A+B$ | $F=(A+B)$ 加 1 | $F=AB$ | $F=AB$ 减 1 | $F=AB$ |
| 1100 | $F=0$ | $F=A$ 加 A^* | $F=A$ 加 A 加 1 | $F=1$ | $F=A$ 加 A^* | $F=A$ 加 A 加 1 |
| 1101 | $F=A\overline{B}$ | $F=AB$ 加 A | $F=AB$ 加 A 加 1 | $F=A+\overline{B}$ | $F=(A+B)$ 加 A | $F=(A+B)$ 加 A 加 1 |
| 1110 | $F=AB$ | $F=A\overline{B}$ 加 A | $F=A\overline{B}$ 加 A 加 1 | $F=A+B$ | $F=(A+\overline{B})$ 加 A | $F=(A+\overline{B})$ 加 A 加 1 |
| 1111 | $F=A$ | $F=A$ | $F=A$ 加 1 | $F=A$ | $F=A$ 减 1 | $F=A$ |





4.9.2 ALU举例

- 3. ALU的应用
 - 当采用组间并行进位时，需要增加一片先行进位部件（74182）。





- 74182可以产生三个进位信号 C_{n+x} 、 C_{n+y} 、 C_{n+z} ，并且还产生大组进位产生函数 G^{**} 和大组进位传递函数 P^{**} ，可供组成位数更长的多级先行进位ALU时用。

$$C_{16} = \underbrace{G_4^* + P_4^* G_3^* + P_4^* P_3^* G_2^* + P_4^* P_3^* P_2^* G_1^*}_{G_1^{**}} + \underbrace{P_4^* P_3^* P_2^* P_1^*}_{P_1^{**}} C_0$$

$$= G_1^{**} + P_1^{**} C_0$$

大组进位
产生函数 G_1^{**}

大组进位
传递函数 P_1^{**}

课堂习题



- 5. 4片74181ALU和一片的74182CLA向配合，具有如下进位传递功能。（ **D** ）
 - A. 串行进位
 - B. 组内并行进位，组间串行进位
 - C. 组内串行进位，组间并行进位
 - D. 组内、组间均为并行进位
- 6. 运算器虽由许多部件组成，但核心部件是（ **A** ）。
 - A. 算术逻辑运算单元
 - B. 多路开关
 - C. 数据总线
 - D. 累加寄存器





• 7. 运算器的主要功能是进行 (**C**) 。

A. 算术运算

B. 逻辑运算

C. 算术逻辑运算

D. 初等函数运算

• 8. 芯片74181可完成 (**D**) 。

A. 16种算术运算

B. 16种逻辑运算

C. 8种算术运算和8种逻辑运算

D. 16种算术运算和16种逻辑运算



第4章 小结



- 4.1 基本运算的实现
 - 加法器
 - 串行加法器与并行加法器
 - ⌘ 进位的产生和传递
 - ⌘ 并行加法器快速进位



第4章 小结



- 4.2 定点加减运算
 - 补码加法运算
 - 补码减法运算
 - ⌘ 已知 $[Y]$ 补求 $[-Y]$ 补的方法
- 补码的溢出判断与检测方法
 - 一位符号位，进位位，双符号位补码



第4章 小结



- 4.3 带符号数的移位运算和舍入操作
 - 补码的移位运算
 - 舍入操作
- 4.4 定点乘法运算
 - 原码一位乘法
 - 补码一位乘法



第4章 小结



- 4.5 定点除法运算
 - 原码加减交替除法
 - 补码加减交替除法
- 4.6 规格化浮点运算算法
 - 浮点加减运算
 - 浮点乘除运算



第4章 小结



- 4.7 十进制整数的加减运算
 - 十进制加法运算的校正
- 4.8 逻辑运算与实现
- 4.9 运算器的基本组成与实例
 - 运算器的基本结构
 - ALU举例



THANK YOU

