

第五章 数字滤波器结构

Structures for digital filter

5.1

数字滤波器概述

5.2

IIR数字滤波器结构

5.3

FIR数字滤波器结构



第五章 数字滤波器结构

Structures for digital filter

5.2 IIR数字滤波器结构

并联型、转置型结构及应用

华东理工大学信息科学与工程学院 万永菁



5.2 IIR数字滤波器结构

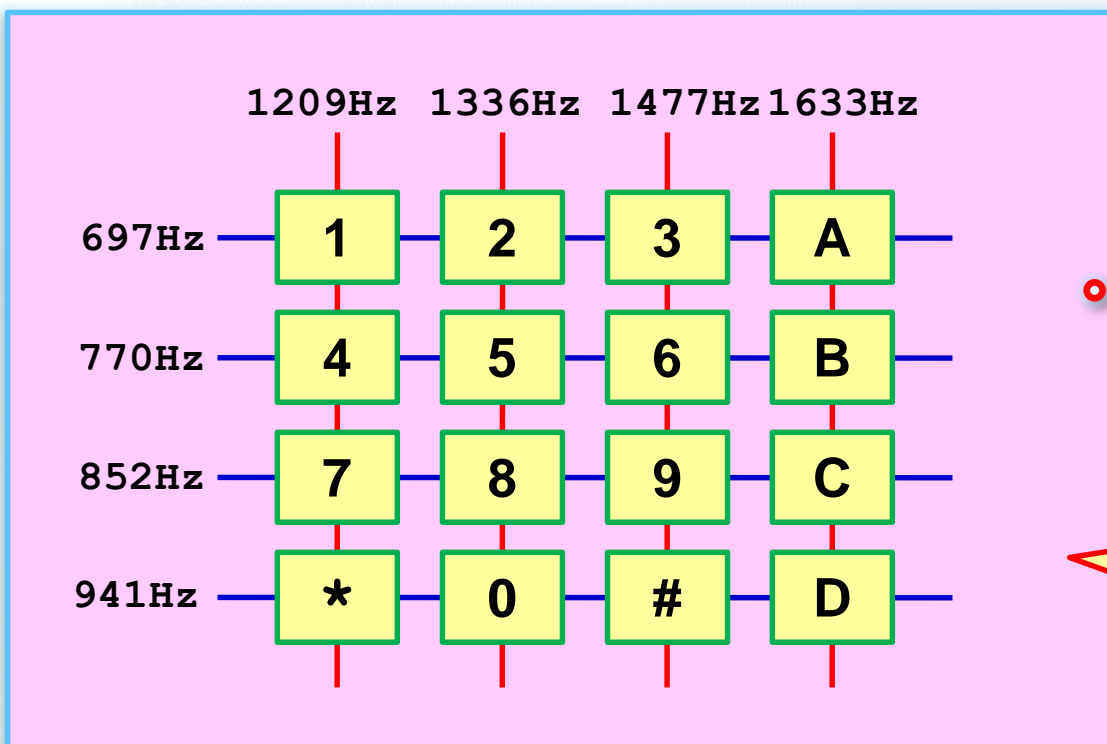


一、并联型IIR数字滤波器结构

Parallel Form

➤ 由双音多频DTMF信号的产生学习并联型IIR滤波器结构

DTMF(Dual Tone Multi-Frequency)



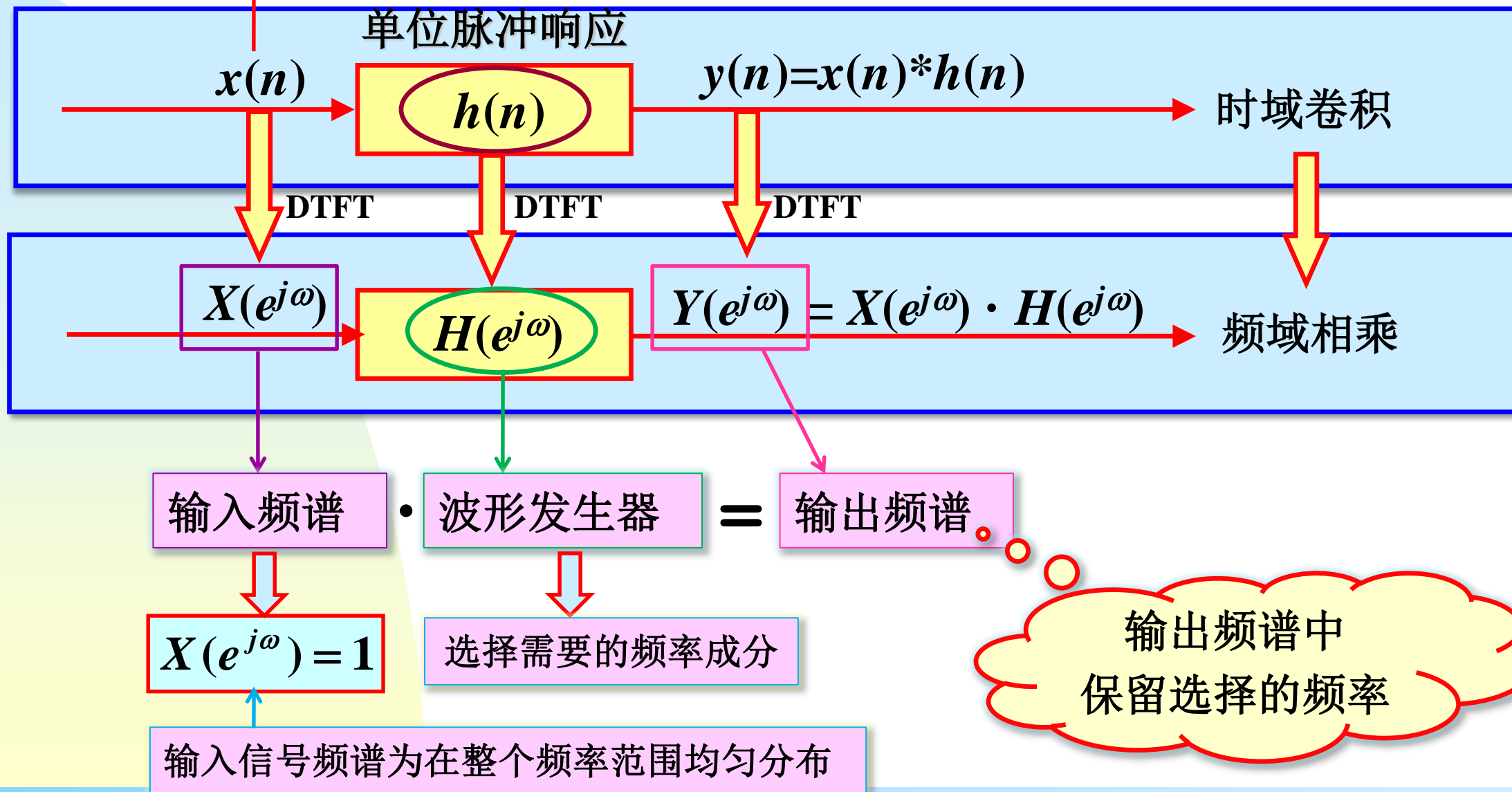
如何产生双音多频信号

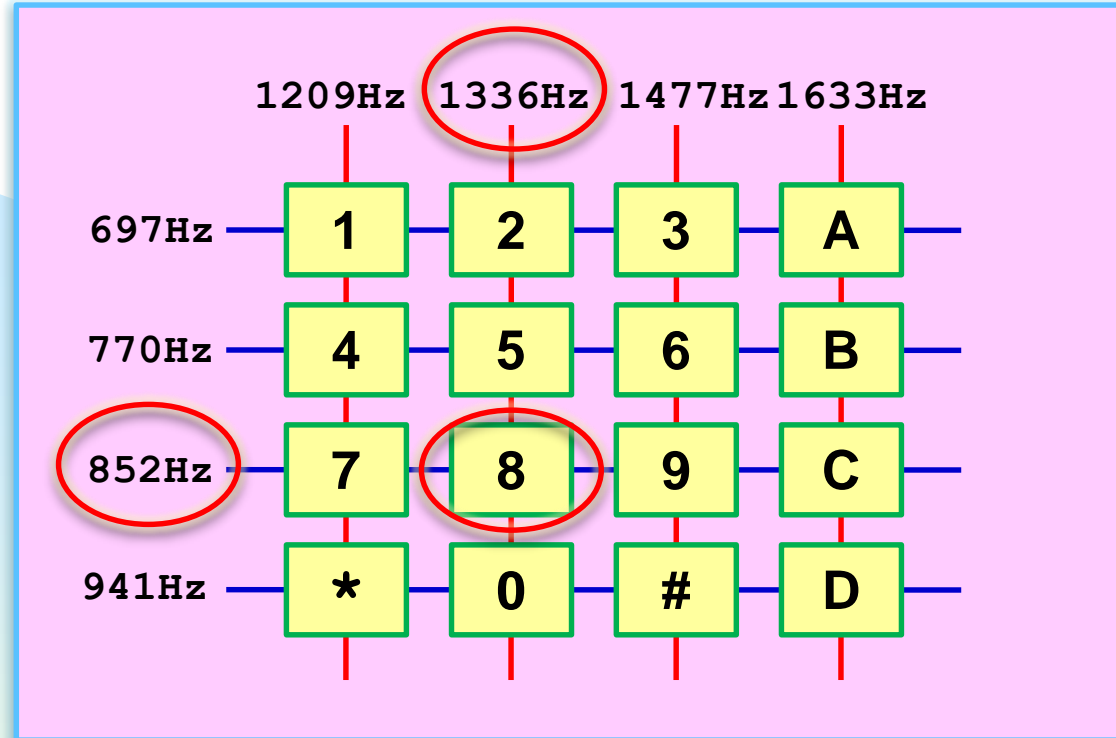
波形发生器!



$$\delta(n) = \begin{cases} 1 & n = 0 \\ 0 & n \neq 0 \end{cases}$$

$$\delta(n) \xrightarrow{\text{DTFT}} X(e^{j\omega}) = \text{DTFT}[\delta(n)] = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(n)e^{-j\omega n} = 1$$





➤ 计算归一化频率 ω_1 和 ω_2

$$f_s = 8000\text{Hz}$$

$$\omega_1 = 2\pi \cdot 852 / 8000 = 0.213\pi$$

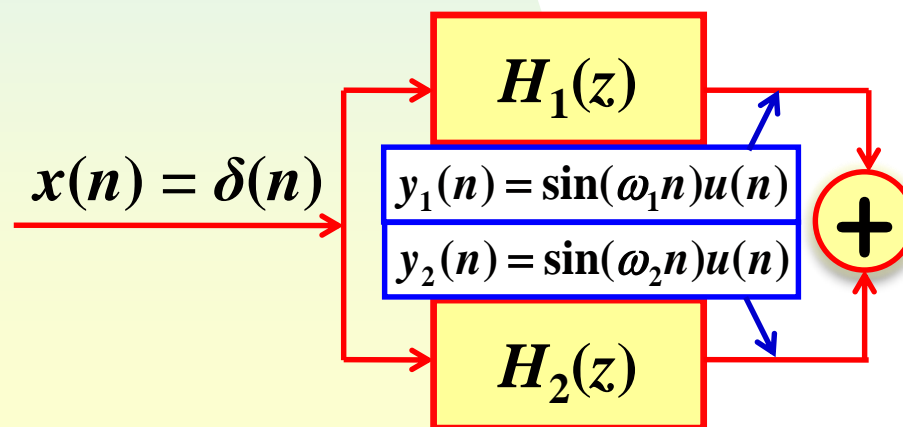
$$\omega_2 = 2\pi \cdot 1336 / 8000 = 0.334\pi$$

$$A_1 = \sin(\omega_1)$$

$$H_1(z) = A_1 \frac{z}{(z - re^{j\omega_1})(z - re^{-j\omega_1})}$$

$$r = 1$$

选择852Hz通过



$$A_2 = \sin(\omega_2)$$

$$H_2(z) = A_2 \frac{z}{(z - re^{j\omega_2})(z - re^{-j\omega_2})}$$

$$r = 1$$

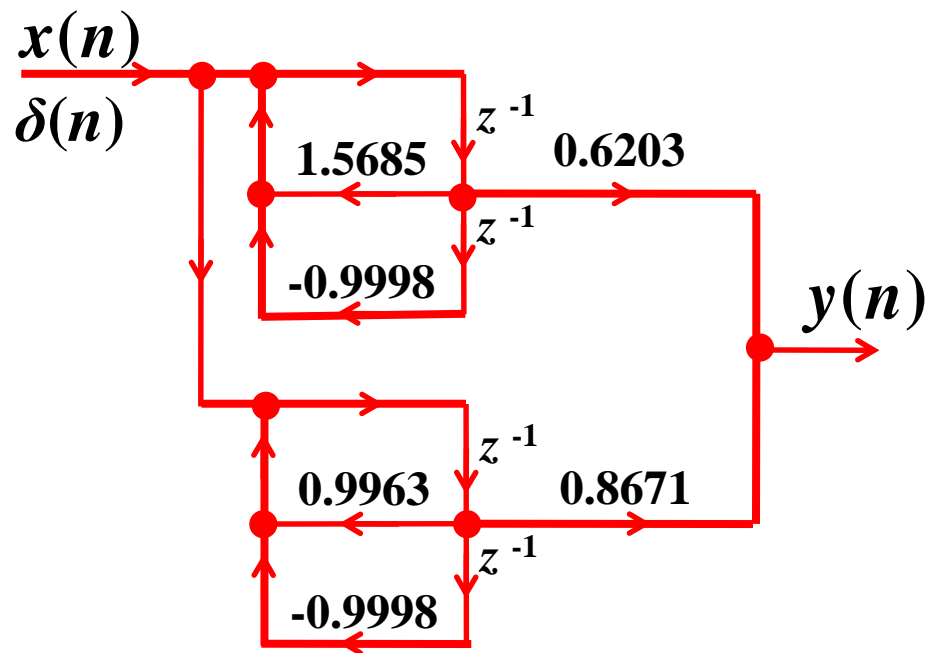
选择1336Hz通过

产生按键8的
双音多频信号

$$H(z) = H_1(z) + H_2(z) = \frac{\sin(\omega_1)z}{(z - re^{j\omega_1})(z - re^{-j\omega_1})} + \frac{\sin(\omega_2)z}{(z - re^{j\omega_2})(z - re^{-j\omega_2})}$$

$$= \left[\frac{0.6203z^{-1}}{1 - 1.5685z^{-1} + 0.9998z^{-2}} \right] + \left[\frac{0.8671z^{-1}}{1 - 0.9963z^{-1} + 0.9998z^{-2}} \right]$$

并联型

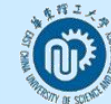


➤ 并联型结构的特点：

特别利于系统极点的控制，每一个二阶网络对应系统的一对极点。

根据实际情况选择
合适的滤波器结构

5.2 IIR数字滤波器结构



➤ 系统函数的部分分式展开

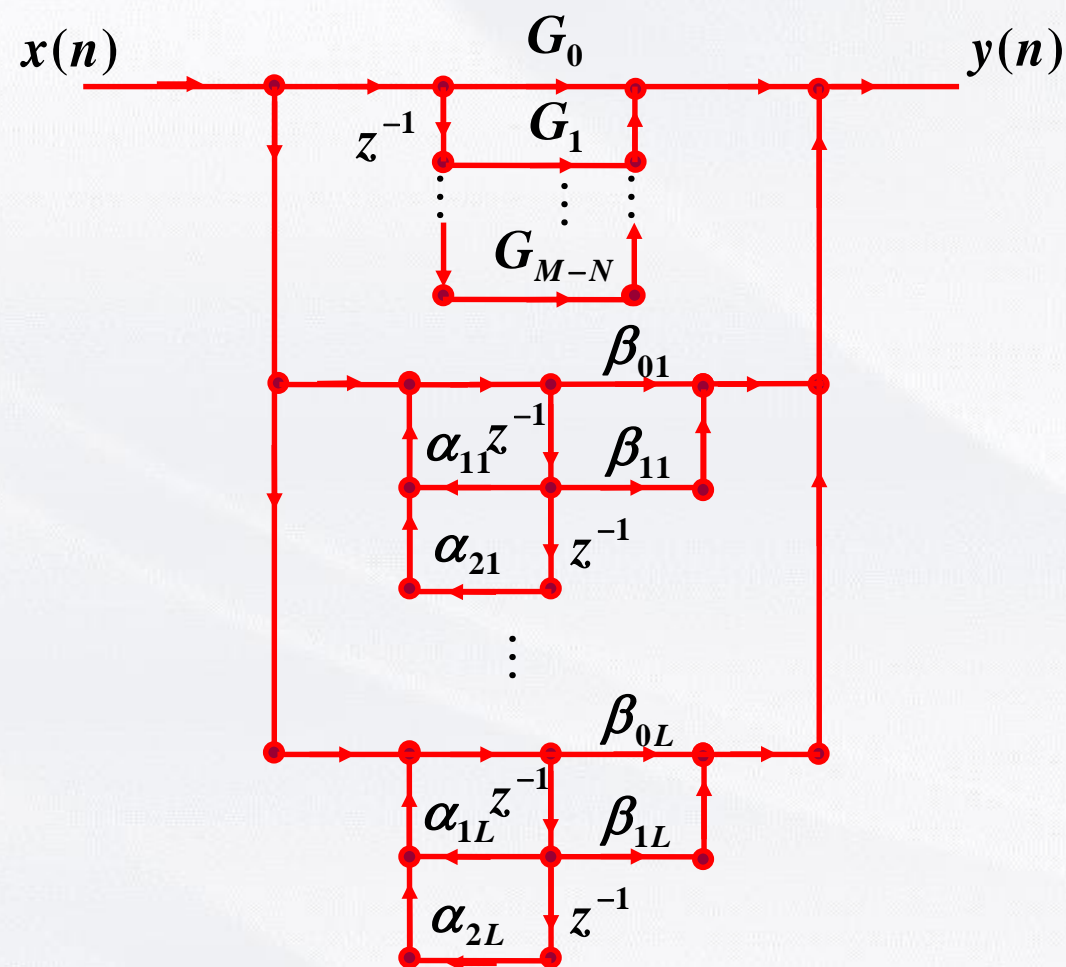
$$\begin{aligned} H(z) &= \frac{\sum_{i=0}^M b_i z^{-i}}{1 - \sum_{i=1}^N a_i z^{-i}} \\ &= \sum_{i=1}^{N_1} \frac{A_i}{1 - c_i z^{-1}} + \sum_{i=1}^{N_2} \frac{B_i (1 - e_i z^{-1})}{(1 - d_i z^{-1})(1 - d_i^* z^{-1})} + \sum_{i=0}^{M-N} A_i z^{-i} \\ &= \sum_{i=1}^{\left[\frac{N+1}{2} \right]} \frac{\beta_{0i} + \beta_{1i} z^{-1}}{1 - \alpha_{1i} z^{-1} - \alpha_{2i} z^{-2}} + \sum_{i=0}^{M-N} G_i z^{-i} \end{aligned}$$

5.2 IIR数字滤波器结构



➤ 基本二阶节的并联结构

$$H(z) = \sum_{i=1}^{\left[\frac{N+1}{2}\right]} \frac{\beta_{0i} + \beta_{1i}z^{-1}}{1 - \alpha_{1i}z^{-1} - \alpha_{2i}z^{-2}} + \sum_{i=0}^{M-N} G_i z^{-i}$$



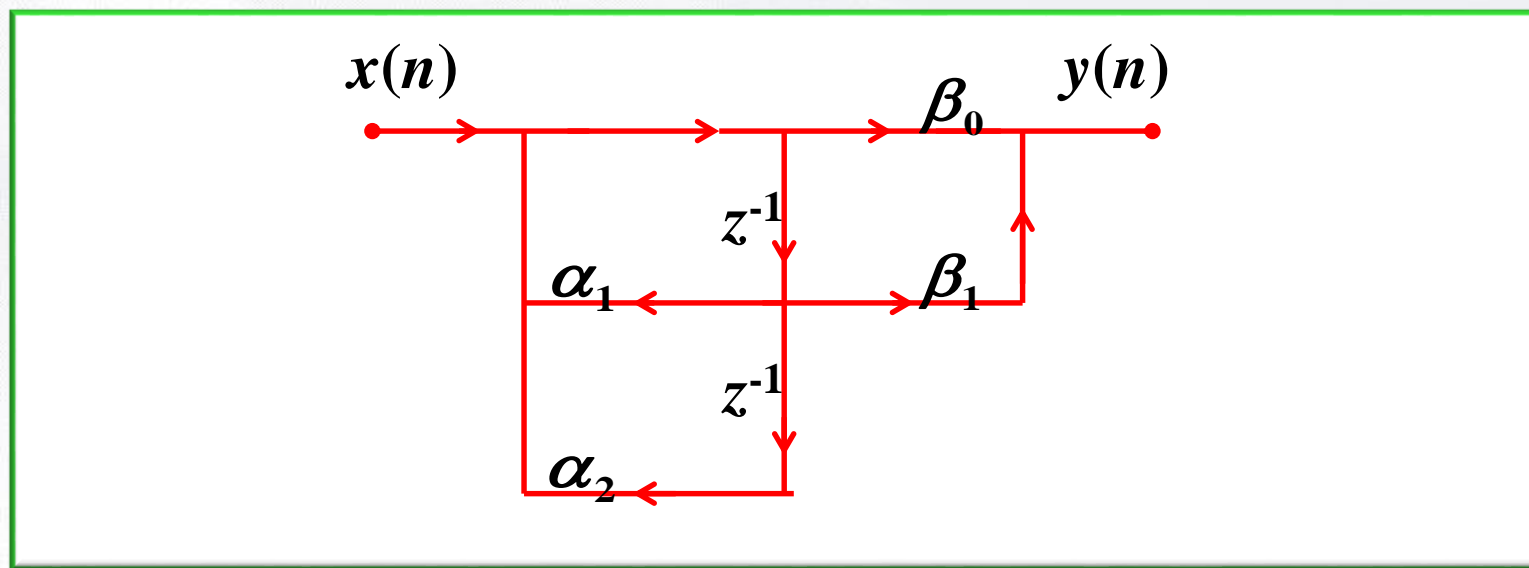
5.2 IIR数字滤波器结构



➤ 并联型的基本二阶节的形式

$$H(z) = \frac{\beta_0 + \beta_1 z^{-1}}{1 - \alpha_1 z^{-1} - \alpha_2 z^{-2}}$$

分子比分母小一阶：



并联型IIR数字滤波器结构的特点

- ◆ 可以单独调整极点位置，但不能象级联那样直接控制零点，故不能用于对零点位置精度要求高的滤波器，例如陷波器和窄带带阻滤波器。
- ◆ 各基本网络是并联的，产生的运算误差互不影响，不像直接型和级联型有误差累积，故并联型结构的运算误差较小。
- ◆ 硬件实现时，各子系统可以并行实现，速度快。

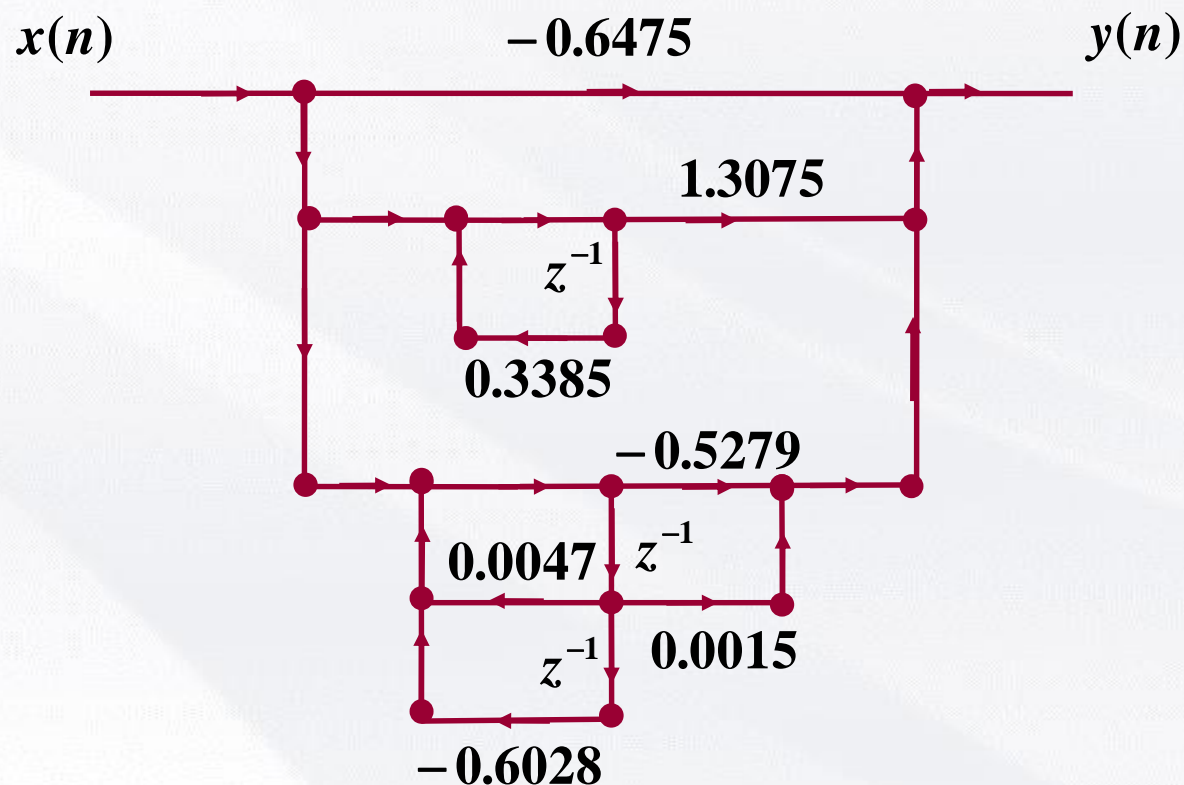


5.2 IIR数字滤波器结构



例：画出下面数字滤波器系统函数的并联型结构

$$H(z) = -0.6475 + \frac{1.3075}{1 - 0.3385z^{-1}} + \frac{-0.5279 + 0.0015z^{-1}}{1 - 0.0047z^{-1} + 0.6028z^{-2}}$$



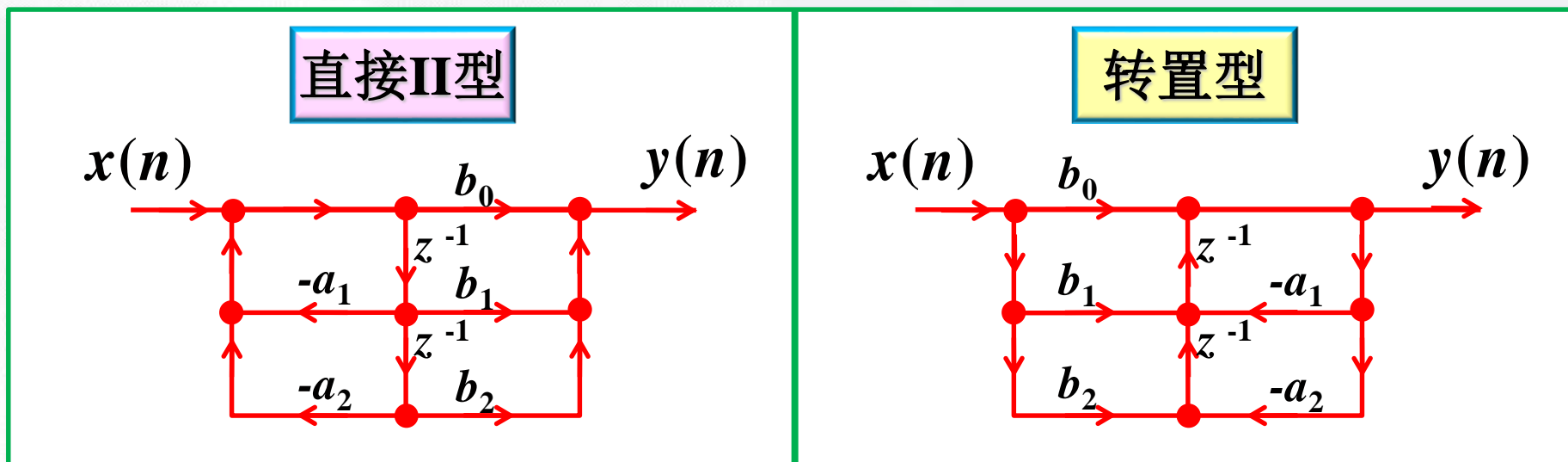
5.2 IIR数字滤波器结构



二、转置型 IIR 数字滤波器结构

如果将一个实系数LSI系统的流图中的**所有支路方向翻转**，支路增益不变，将**输入输出的位置交换**，则形成原网络的**转置型结构**，且系统的传输函数不变。

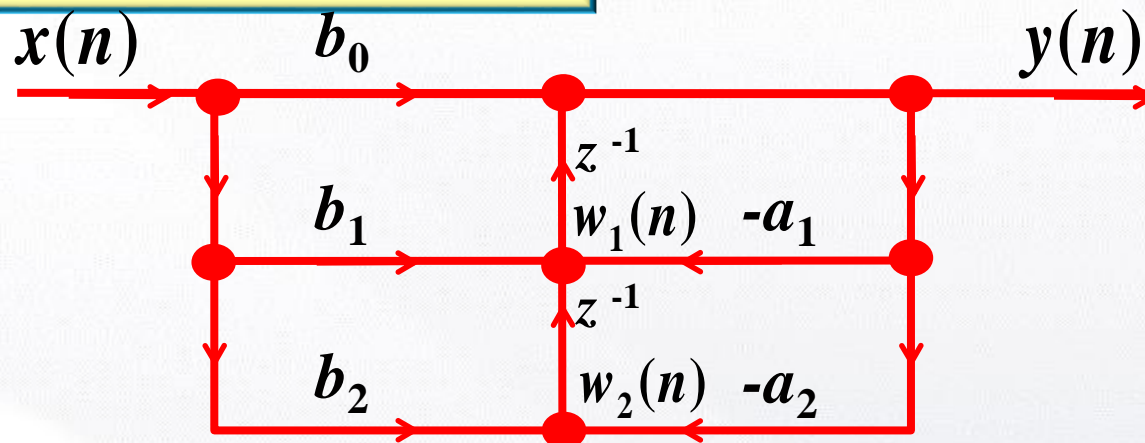
$$H(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}}$$



5.2 IIR数字滤波器结构



转置型IIR滤波器结构分析:



$$\begin{cases} y(n) = b_0 x(n) + \underline{w_1(n-1)} \\ \underline{w_1(n)} = b_1 x(n) - a_1 y(n) + \underline{w_2(n-1)} \\ \underline{w_2(n)} = b_2 x(n) - a_2 y(n) \end{cases}$$

$$H(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}}$$

$$\begin{aligned} y(n) &= b_0 x(n) + b_1 x(n-1) - a_1 y(n-1) + b_2 x(n-2) - a_2 y(n-2) \\ &= b_0 x(n) + b_1 x(n-1) + b_2 x(n-2) - a_1 y(n-1) - a_2 y(n-2) \end{aligned}$$



第五章 数字滤波器结构

Structures for digital filter

5.2 IIR数字滤波器结构

并联型、转置型结构及应用

华东理工大学信息科学与工程学院 万永菁

