



北京交通大学

数字信号处理

Digital Signal Processing

主讲人：陈后金
电子信息工程学院



IIR数字滤波器的基本结构

- ◆ 直接型结构
- ◆ 级联型结构
- ◆ 并联型结构



IIR数字滤波器的级联型结构

若将数字滤波器系统函数 $H(z)$ 的分子和分母分解为一阶或二阶实系数因子之积的形式，且采用二阶因子表示一阶因子：

二阶基本节

$$H(z) = \prod_{i=1}^L \frac{\gamma_{0i} + \gamma_{1i}z^{-1} + \gamma_{2i}z^{-2}}{1 + \beta_{1i}z^{-1} + \beta_{2i}z^{-2}} = A \prod_{i=1}^L \frac{1 + \alpha_{1i}z^{-1} + \alpha_{2i}z^{-2}}{1 + \beta_{1i}z^{-1} + \beta_{2i}z^{-2}} = A \prod_{i=1}^L H_i(z)$$

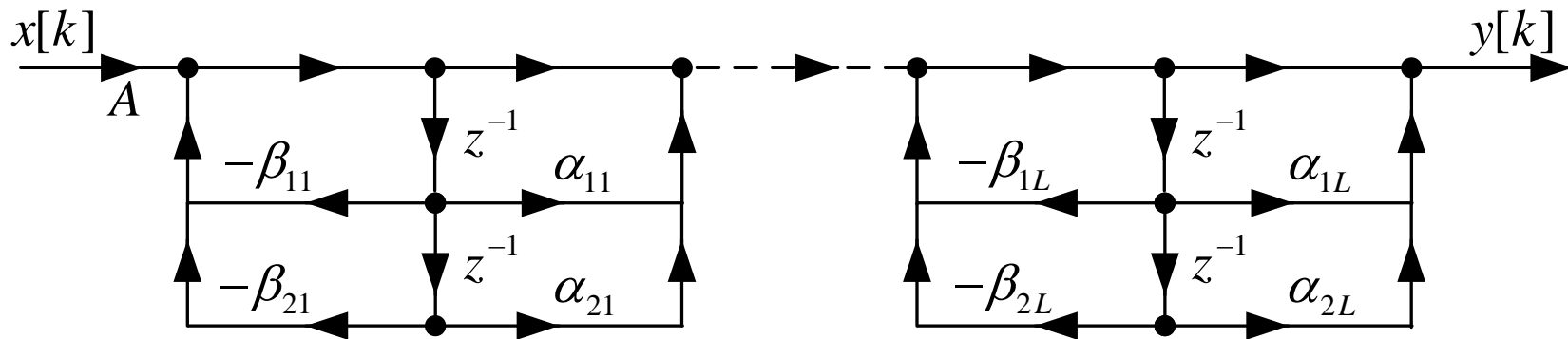
画出各二阶基本节直接型结构，并将之级联，即为级联型结构。



IIR数字滤波器的级联型结构

※ 基于直接II型的级联型结构

$$H(z) = A \prod_{i=1}^L \frac{1 + \alpha_{1i}z^{-1} + \alpha_{2i}z^{-2}}{1 + \beta_{1i}z^{-1} + \beta_{2i}z^{-2}}$$

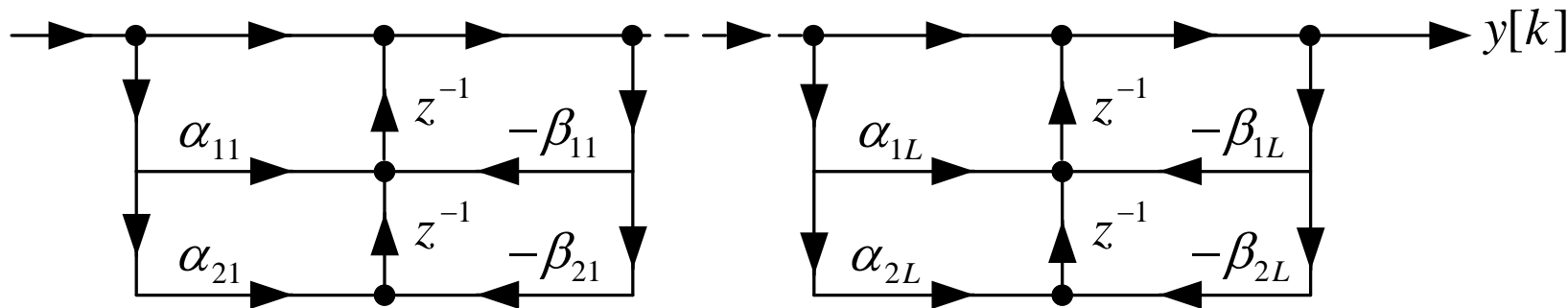




IIR数字滤波器的级联型结构

※ 基于转置直接II型的级联型结构

$$H(z) = A \prod_{i=1}^L \frac{1 + \alpha_{1i}z^{-1} + \alpha_{2i}z^{-2}}{1 + \beta_{1i}z^{-1} + \beta_{2i}z^{-2}}$$





IIR数字滤波器的级联型结构

IIR数字滤波器**级联型结构**的特点：

- 每个基本节系数变化只影响该子系统的零极点
- 对系数变化的敏感度小，受有限字长的影响比直接型低



IIR数字滤波器的并联型结构

若将滤波器系统函数 $H(z)$ 展开成部分分式之和，且采用二阶基本节表示一阶子系统：

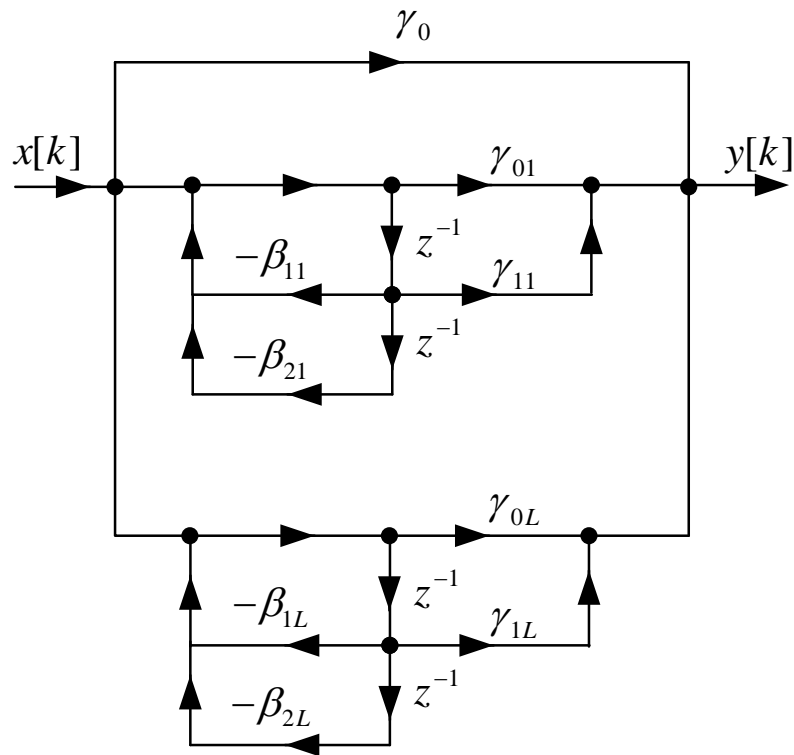
$$H(z) = \gamma_0 + \sum_{k=1}^L \frac{\gamma_{0k} + \gamma_{1k}z^{-1}}{1 + \beta_{1k}z^{-1} + \beta_{2k}z^{-2}}$$

画出各二阶基本节直接型结构，并将之并联，即为**并联型结构**。



IIR数字滤波器的并联型结构

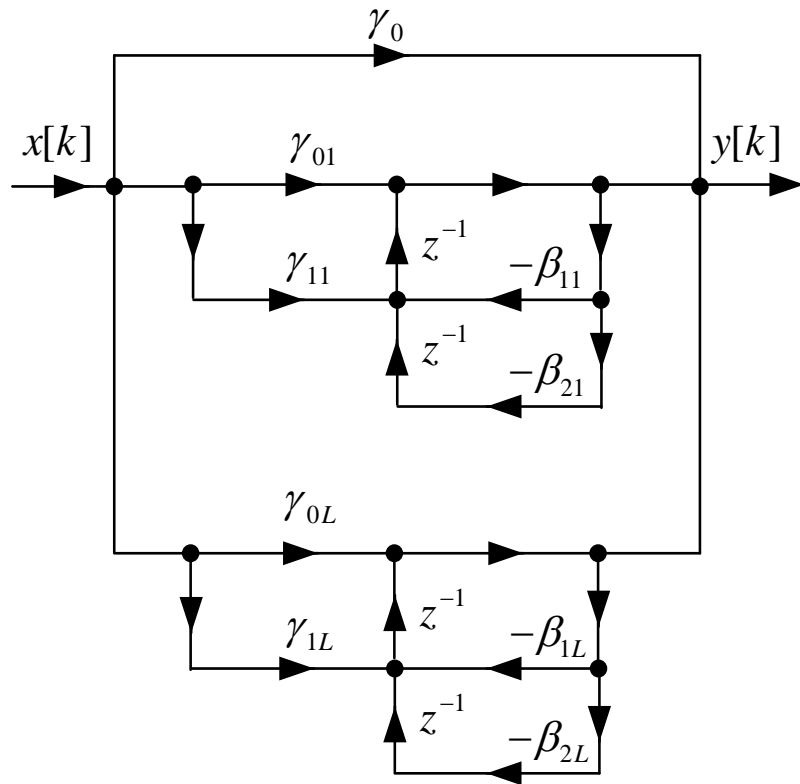
※ 基于直接II型的并联型结构





IIR数字滤波器的并联型结构

※ 基于转置直接II型的并联型结构





IIR数字滤波器的并联型结构

※ IIR数字滤波器**并联型结构**的特点：

1. 运算速度快，处理延时短
2. 各基本节的误差互不影响
3. 每个基本节系数变化只影响该子系统的零极点



IIR数字滤波器结构举例

[例] 已知某三阶数字滤波器的系统函数为

$$H(z) = \frac{3 + \frac{5}{3}z^{-1} + \frac{2}{3}z^{-2}}{(1 - \frac{1}{3}z^{-1})(1 + \frac{1}{2}z^{-1} + \frac{1}{2}z^{-2})}$$

试画出其直接型、级联型和并联型结构。

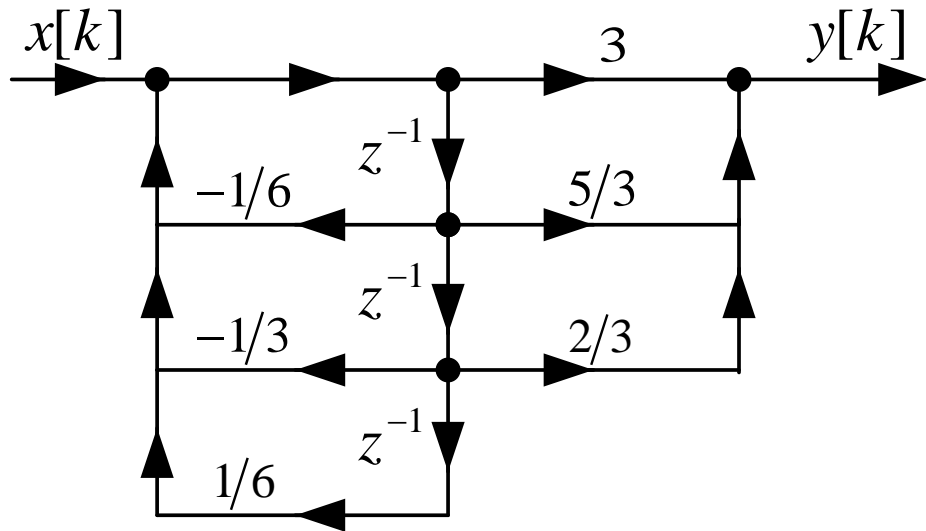


IIR数字滤波器结构举例

解：直接II型

将系统函数 $H(z)$ 表达为：

$$H(z) = \frac{3 + \frac{5}{3}z^{-1} + \frac{2}{3}z^{-2}}{1 + \frac{1}{6}z^{-1} + \frac{1}{3}z^{-2} - \frac{1}{6}z^{-3}}$$

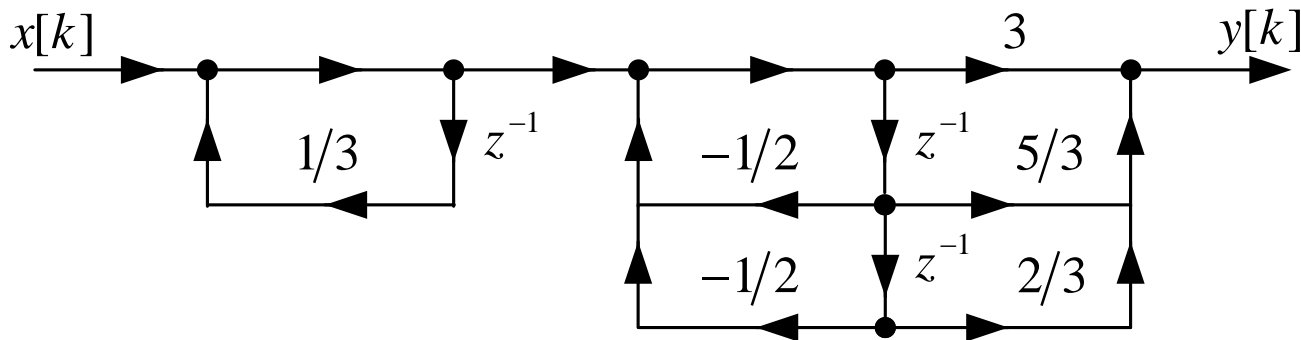




IIR数字滤波器结构举例

解：级联型

将系统函数 $H(z)$ 表达为：

$$H(z) = \frac{1}{1 - \frac{1}{3}z^{-1}} \cdot \frac{3 + \frac{5}{3}z^{-1} + \frac{2}{3}z^{-2}}{1 + \frac{1}{2}z^{-1} + \frac{1}{2}z^{-2}}$$


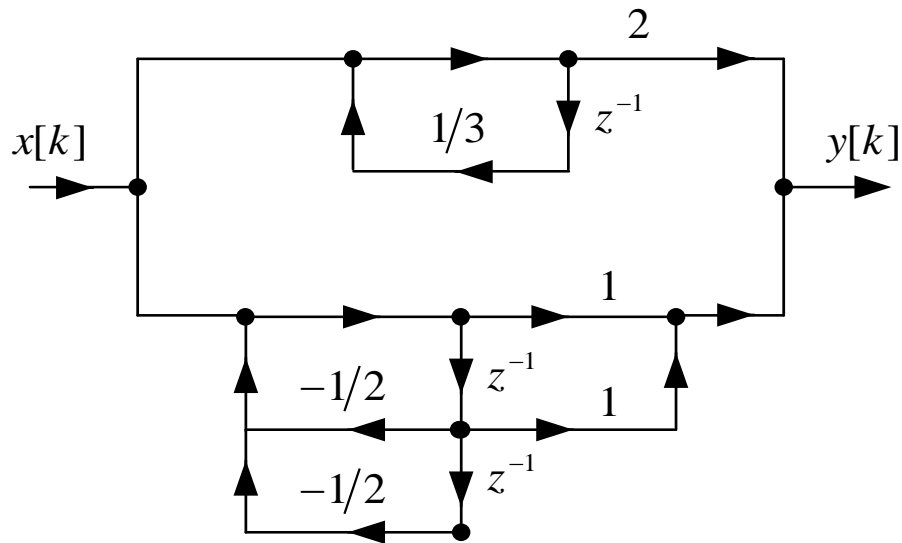


IIR数字滤波器结构举例

解： 并联型

将系统函数 $H(z)$ 表达为：

$$H(z) = \frac{2}{1 - \frac{1}{3}z^{-1}} + \frac{1 + z^{-1}}{1 + \frac{1}{2}z^{-1} + \frac{1}{2}z^{-2}}$$





IIR数字滤波器基本结构的规律

※ 直接型结构

$$H(z) = \frac{\sum_{i=0}^M b_i z^{-i}}{1 + \sum_{j=1}^N a_j z^{-j}}$$

- (1) 画出 N 个级联的延时器 z^{-1} ;
- (2) 将各延时器的输出反馈连接到输入端的加法器形成**反馈回路**, 这些反馈回路的系统函数分别为 $-a_1 z^{-1}, -a_2 z^{-2}, \dots, -a_N z^{-N}$;
- (3) 将输入端加法器的输出和各延时器的输出, 正向连接到输出端的加法器构成**前向通路**, 各条前向通路的系统函数分别为 $b_0, b_1 z^{-1}, b_2 z^{-2}, \dots, b_{M-1} z^{-(M-1)}, b_M z^{-M}$ 。



IIR数字滤波器基本结构的规律

※ 级联型结构

- (1) 将系统函数 $H(z)$ 表达为一阶或二阶实系数分式之积；
- (2) 分别画出每个一阶或二阶子系统的直接型结构，再将它们级联。

※ 并联型结构

- (1) 将系统函数 $H(z)$ 表达为一阶或二阶实系数分式之和；
- (2) 分别画出每个一阶或二阶子系统的直接型结构，再将它们并联。



IIR数字滤波器的基本结构

谢 谢

本课程所引用的一些素材为主讲老师多年的教学积累，来源于多种媒体及同事和同行的交流，难以一一注明出处，特此说明并表示感谢！