



«Методы и алгоритмы
цифровой обработки сигналов
на базе MATLAB»

*Методы многоскоростной
обработки сигналов.*

*Полифазные структуры
многоскоростных систем*

Клионский Д.М. — к.т.н., доцент кафедры

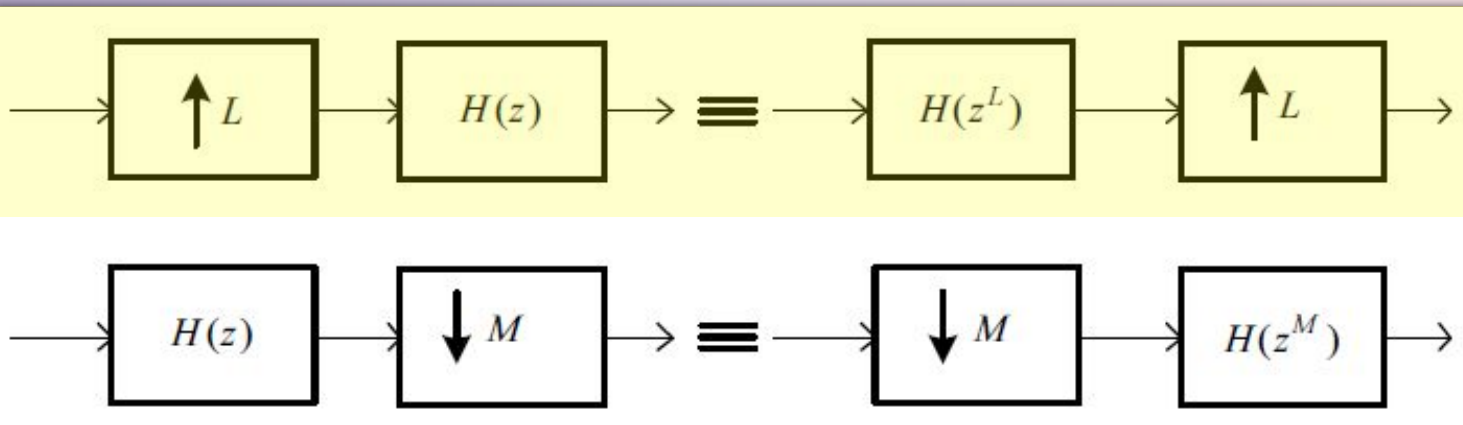
математического обеспечения и применения ЭВМ (МОЭВМ)



СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

ПОЛИФАЗНЫЕ СТРУКТУРЫ (1)

Тождества для построения многоскоростных систем



ПОЛИФАЗНЫЕ СТРУКТУРЫ (2)

Передаточная функция КИХ-фильтра

$$H(z) = \sum_{n=0}^{N-1} h(n)z^{-n} = h_0z^{-1} + h_2z^{-2} + \dots + h_{L-1}z^{-L-1} + \dots + h_{N-1}z^{-(N-1)}$$

Матричная запись передаточной функции КИХ-фильтра

$$\mathbf{H}(z) = \begin{bmatrix} h_0 & h_1 & \dots & h_{L-1} \\ h_L z^{-L} & h_{L+1} z^{-L} & \dots & h_{L+(L-1)} z^{-L} \\ \boxtimes & \boxtimes & \boxtimes & \boxtimes \\ h_{(G-1)L} z^{-(G-1)L} & h_{(G-1)L+1} z^{-(G-1)L} & \dots & h_{(G-1)L+(L-1)} z^{-(G-1)L} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} z^0 \\ z^{-1} \\ \boxtimes \\ z^{-(L-1)} \end{bmatrix} = \mathbf{A}\mathbf{B}'$$



ПОЛИФАЗНЫЕ СТРУКТУРЫ (3)

Матричная запись передаточной функции КИХ-фильтра

$$\mathbf{H}(z) = \begin{bmatrix} z^0 & z^{-1} & \boxtimes & z^{-(L-1)} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} h_0 & h_1 & \dots & h_{L-1} \\ h_L z^{-L} & h_{L+1} z^{-L} & \dots & h_{L+(L-1)} z^{-L} \\ \boxtimes & \boxtimes & \boxtimes & \boxtimes \\ h_{(G-1)L} z^{-(G-1)L} & h_{(G-1)L+1} z^{-(G-1)L} & \dots & h_{(G-1)L+(L-1)} z^{-(G-1)L} \end{bmatrix}^T = \mathbf{BA}'.$$

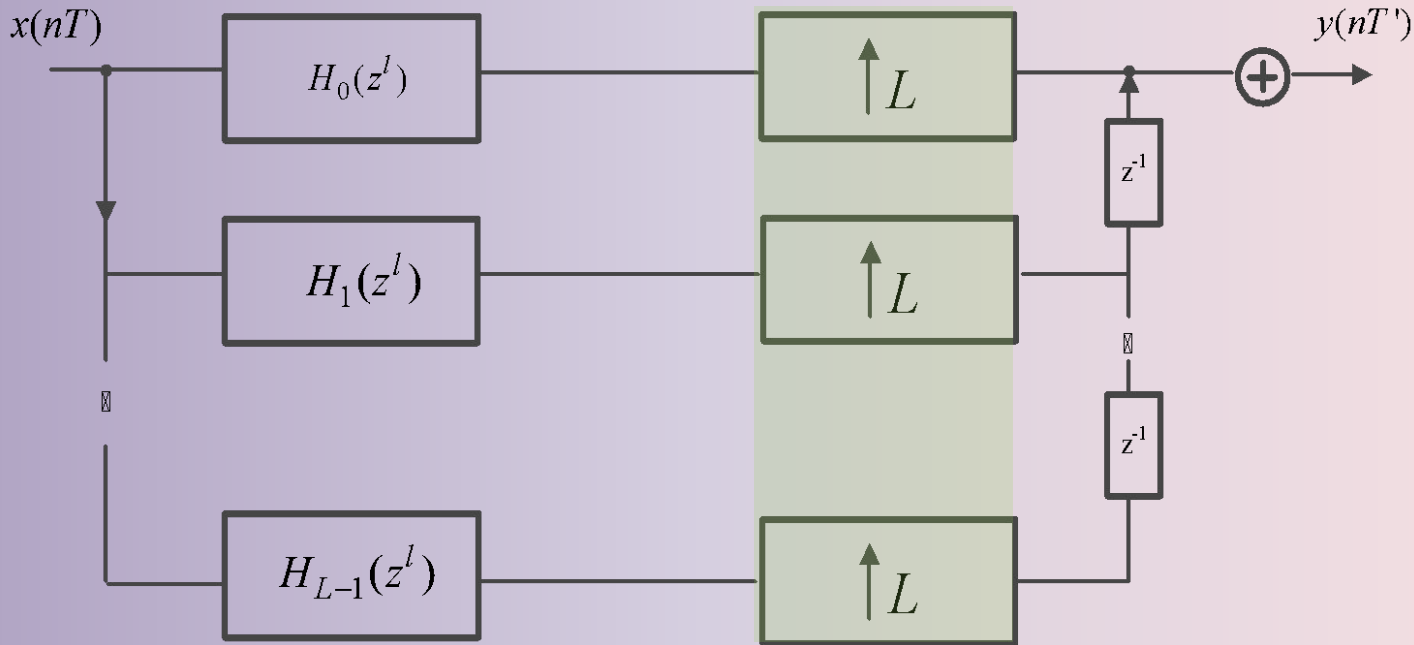
Запись передаточной функции КИХ-фильтра

в виде произведения векторов

$$\mathbf{H}(z) = \begin{bmatrix} z^0 & z^{-1} & \boxtimes & z^{-(L-1)} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} H_0(z^L) \\ H_1(z^L) \\ \boxtimes \\ H_{L-1}(z^L) \end{bmatrix} = \sum_{k=0}^{L-1} H_k(z^L) z^{-k},$$

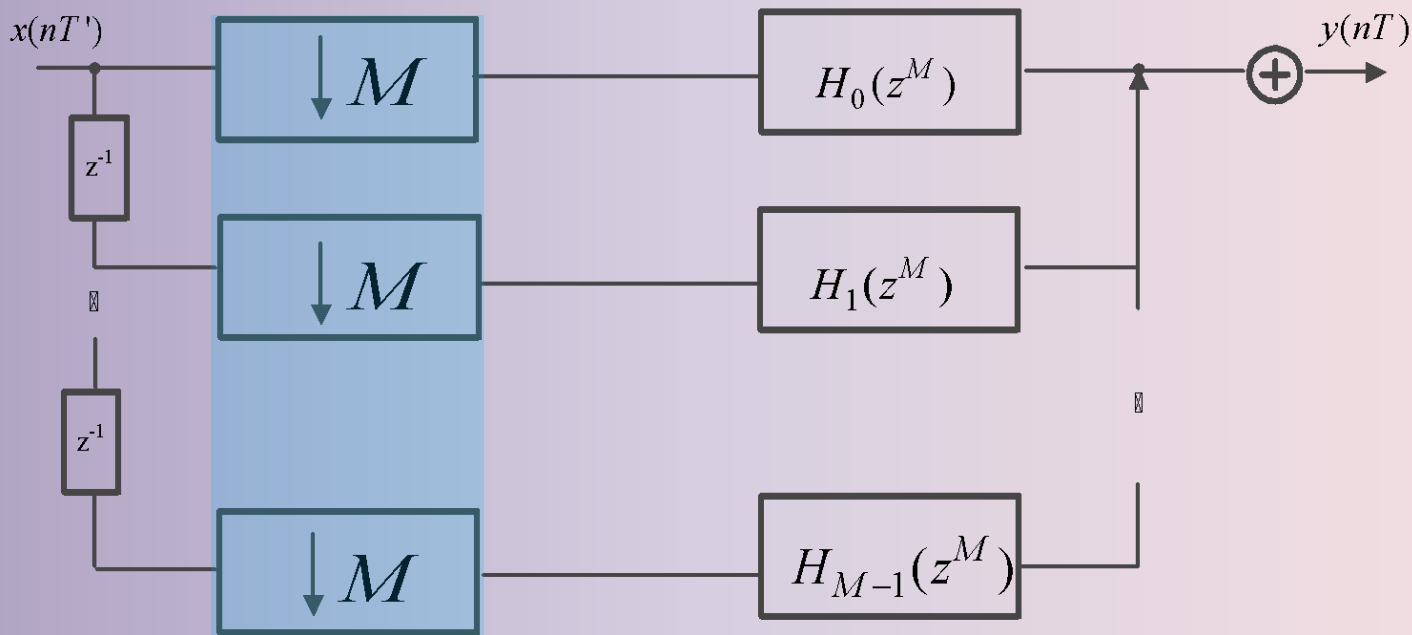
ПОЛИФАЗНЫЕ СТРУКТУРЫ (4)

Полифазная структура системы однократной интерполяции



ПОЛИФАЗНЫЕ СТРУКТУРЫ (5)

Полифазная структура системы однократной децимации



ПОЛИФАЗНЫЕ СТРУКТУРЫ (6)

Моделирование полифазной структуры в программной системе MATLAB

$H_i = \text{mfilt.firinterp}(L, [, \text{Num}])$

$H_d = \text{mfilt.firdecim}(M, [, \text{Num}])$

$H_r = \text{mfilt.firsrc}(L, M, [, \text{Num}])$

где L, M – коэффициенты интерполяции и децимации;

Num – коэффициенты передаточной функции КИХ-фильтра ФНЧ,
работающего на "высокой" частоте дискретизации.



ПОЛИФАЗНЫЕ СТРУКТУРЫ (7)

Фильтр Найквиста для полифазной структуры

- 1) для *системы однократной интерполяции*: в ПП равна L и достигает половинного значения (-6 дБ) в шкале нормированных частот $f/(f_d/2)$ на частоте $1/L$ или на частоте $f_d/2L$ в шкале абсолютных частот, где f_d – частота дискретизации входного сигнала;
- 2) для *системы однократной децимации*: в ПП равна L и достигает половинного значения (-6 дБ) в шкале нормированных частот $f/(f_d/2)$ на частоте $1/M$ или на частоте $f_d/2M$ в шкале абсолютных частот, где f_d – частота дискретизации входного сигнала;
- 3) для *системы однократной передискретизации*: в ПП равна L и достигает половинного значения в шкале нормированных частот на частоте $1/\max\{L,M\}$.

ПОЛИФАЗНЫЕ СТРУКТУРЫ (8)

Структуры с КИХ-фильтрами прямой структуры

- ❑ Direct-Form FIR Polyphase Interpolator — полифазная структура системы интерполяции с КИХ-фильтрами, длиной $\text{length} (N_i \cdot \text{Numerator} / L)$ (целое число), работающими на "низкой" частоте дискретизации *входного* сигнала;
- ❑ Direct-Form FIR Polyphase Decimator — полифазная структура системы децимации с КИХ-фильтрами, длиной $\text{length} (N_d \cdot \text{Numerator} / M)$ (целое число), работающими на "низкой" частоте дискретизации *выходного* сигнала;
- ❑ Direct-Form FIR Polyphase Sample-Rate Converter — полифазная структура системы передискретизации с КИХ-фильтрами, длина и частота дискретизации которых зависит от соотношения L и M , а именно:
 - при $L > M$ длина КИХ-фильтров равна $\text{length} (N_r \cdot \text{Numerator} / L)$ и они работают на "низкой" частоте дискретизации *входного* сигнала;
 - при $L < M$ длина КИХ-фильтров равна $\text{length} (N_r \cdot \text{Numerator} / M)$ и они работают на "низкой" частоте дискретизации *выходного* сигнала.



ПОЛИФАЗНЫЕ СТРУКТУРЫ (9)

Моделирование многоскоростной системы с полифазной структурой В MATLAB

```
y = filter(H,x)
```

где H — имя объекта `mfilt`; x — входной сигнал (воздействие); y — выходной сигнал (реакция), длина которого зависит от типа многоскоростной системы и будет следующей:

- в L раз больше длины входного сигнала для системы однократной интерполяции;
- в M раз меньше длины входного сигнала для системы однократной децимации;
- равна $\text{ceil}(\text{length}(x) * L/M)$ для системы однократной передискретизации.





«Методы и алгоритмы
цифровой обработки сигналов
на базе MATLAB»

*Методы многоскоростной
обработки сигналов.*

*Полифазные структуры
многоскоростных систем*

Клионский Д.М. – к.т.н., доцент кафедры

математического обеспечения и применения ЭВМ (МОЭВМ)



СПбГЭТУ «ЛЭТИ»