

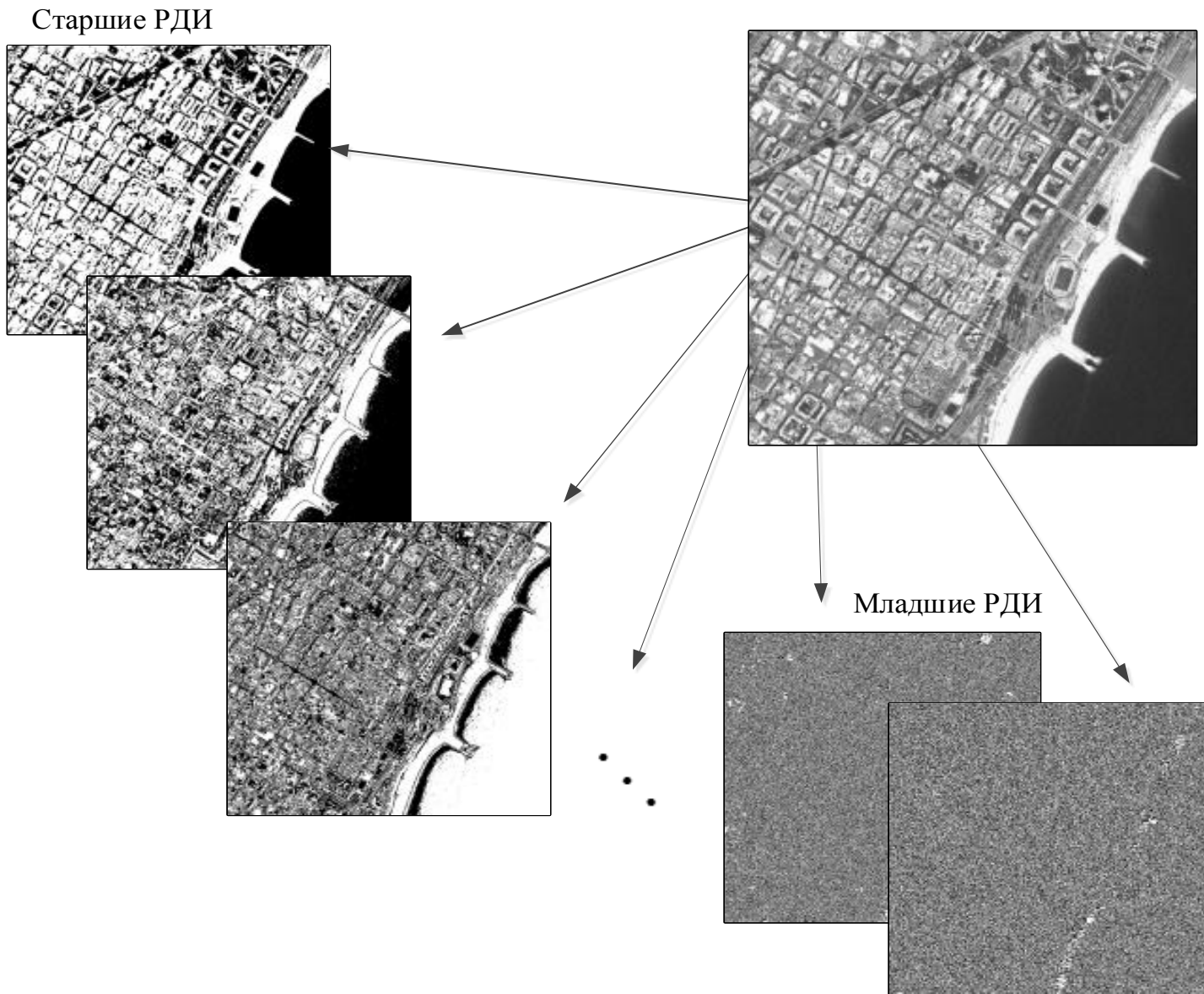
ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет»  
Кафедра радиоэлектронных средств



# КОМБИНИРОВАННАЯ НЕЛИНЕЙНАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ БОЛЬШОЙ РАЗРЯДНОСТИ

Петров Е.П., Харина Н.Л., Ржаникова Е.Д.

# Представление ЦПИ набором разрядных двоичных изображений



# Представление ЦПИ набором разрядных цифровых изображений



Исходное изображение

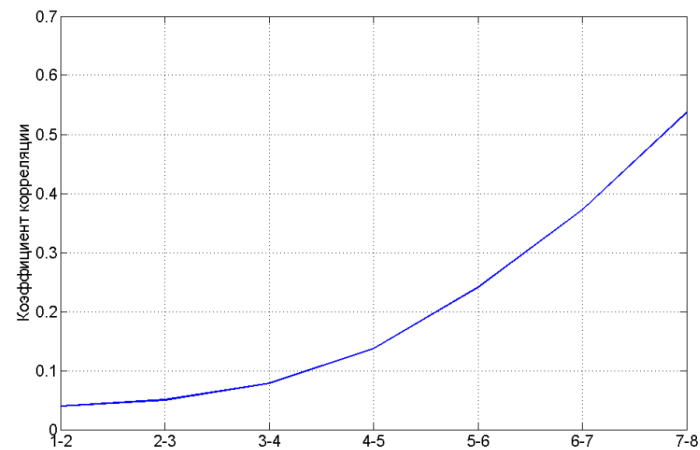
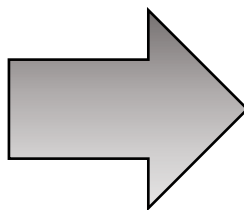


График межразрядной корреляции



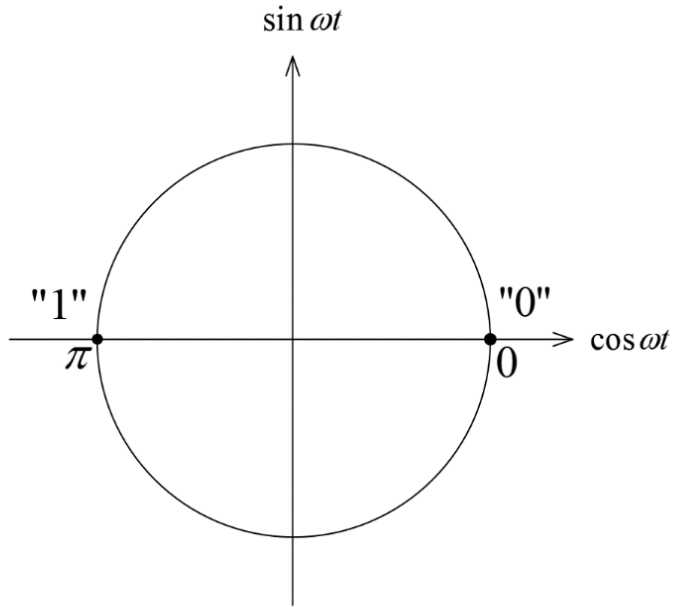
РДИ 8 и 7 разрядов



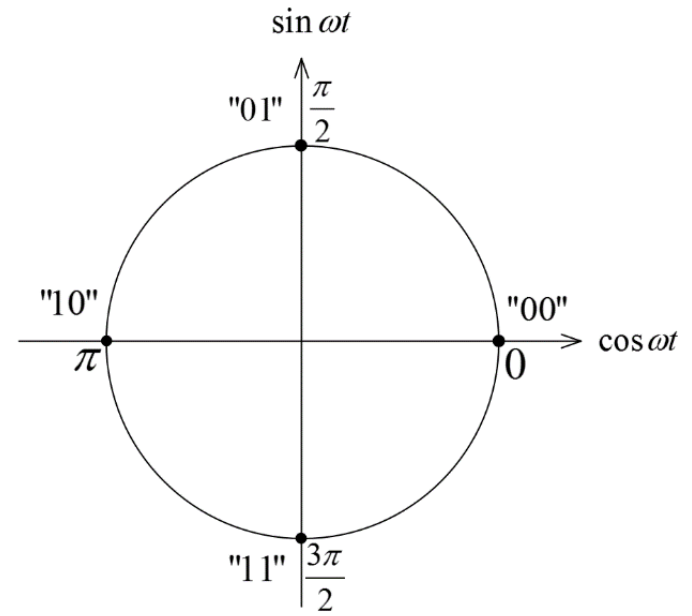
ГРЦИ 8-7 разрядов

# Способы фазовой манипуляции

Двоичная фазовая манипуляция



Квадратурная фазовая манипуляция



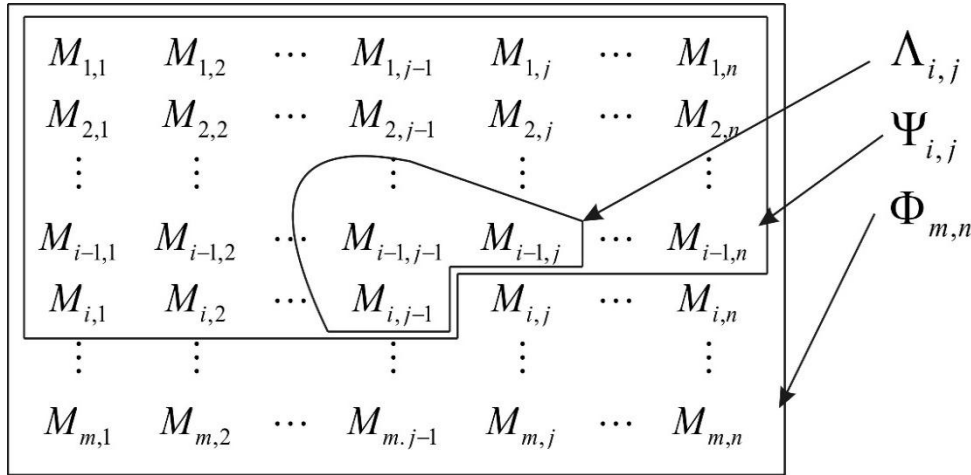
# Преимущества перехода к многофазным сигналам

---

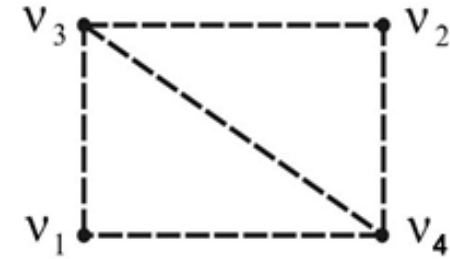
- Сокращение времени передачи в 2 и более раз
- Возможность скомпенсировать потери помехоустойчивости от деления фазы за счет применения алгоритма нелинейной фильтрации цифровых полутоновых изображений в условиях белого гауссовского шума.

# Математическая модель ГРЦИ с 4-мя состояниями

Двумерная цепь Маркова с 4-мя равновероятными состояниями  $M_1, M_2, M_3, M_4$ .



Марковское случайное поле



Фрагмент области МСП,  
где приняты обозначения

$$v_1 = M_{i,j-1}; \quad v_2 = M_{i-1,j};$$

$$v_3 = M_{i-1,j-1}; \quad v_4 = M_{i,j}$$

$${}^1\Pi = \left\| {}^1\pi_{ij} \right\|_{4 \times 4} \quad {}^2\Pi = \left\| {}^2\pi_{ij} \right\|_{4 \times 4}$$

$$\sum_{j=1}^N {}^q\pi_{ij} = 1, \quad i \in N, \quad q = \overline{1,2}$$

# Математическая модель ГРЦИ с 4-мя состояниями

Матрица вероятностей переходов от комбинации состояний предыдущих элементов

$$\Pi = \begin{pmatrix} \pi_{iii} & \pi_{iji} & \pi_{iki} & \pi_{ili} & \pi_{jii} & \pi_{jji} & \pi_{jki} & \pi_{jli} & \dots & \pi_{lii} & \pi_{lji} & \pi_{lki} & \pi_{lli} \\ \pi_{ijj} & \pi_{ijj} & \pi_{ikj} & \pi_{ilj} & \pi_{jjj} & \pi_{jjj} & \pi_{jkj} & \pi_{jlj} & \dots & \pi_{lij} & \pi_{ljj} & \pi_{lkj} & \pi_{llj} \\ \pi_{iik} & \pi_{ijk} & \pi_{ikk} & \pi_{ilk} & \pi_{jik} & \pi_{jjk} & \pi_{jkk} & \pi_{jlk} & \dots & \pi_{lik} & \pi_{ljk} & \pi_{lkk} & \pi_{llk} \\ \pi_{iil} & \pi_{ijl} & \pi_{ikl} & \pi_{ill} & \pi_{jil} & \pi_{jll} & \pi_{jkl} & \pi_{jll} & \dots & \pi_{lil} & \pi_{ljl} & \pi_{lkl} & \pi_{lll} \end{pmatrix}$$

Элементы матрицы  $\Pi$  связаны с элементами матриц  ${}^1\Pi$  и  ${}^2\Pi$  следующими соотношениями:

$$\begin{aligned} \pi_{iii} &= \frac{{}^1\pi_{ii} \cdot {}^2\pi_{ii}}{3\pi_{ii}} & \pi_{ijj} &= \frac{{}^1\pi_{ij} \cdot {}^2\pi_{ij}}{3\pi_{ij}} & \pi_{iik} &= \frac{{}^1\pi_{ik} \cdot {}^2\pi_{ik}}{3\pi_{ii}} & \pi_{iil} &= \frac{{}^1\pi_{il} \cdot {}^2\pi_{il}}{3\pi_{ii}} \\ \pi_{iji} &= \frac{{}^1\pi_{ii} \cdot {}^2\pi_{ji}}{3\pi_{ij}} & \pi_{ijj} &= \frac{{}^1\pi_{ij} \cdot {}^2\pi_{jj}}{3\pi_{ij}} & \pi_{ijk} &= \frac{{}^1\pi_{ik} \cdot {}^2\pi_{jk}}{3\pi_{ij}} & \pi_{ijl} &= \frac{{}^1\pi_{il} \cdot {}^2\pi_{jl}}{3\pi_{ij}} \\ \dots & & \dots & & \dots & & \dots & \\ \pi_{lli} &= \frac{{}^1\pi_{li} \cdot {}^2\pi_{li}}{3\pi_{ll}} & \pi_{llj} &= \frac{{}^1\pi_{lj} \cdot {}^2\pi_{lj}}{3\pi_{ll}} & \pi_{llk} &= \frac{{}^1\pi_{lk} \cdot {}^2\pi_{lk}}{3\pi_{ll}} & \pi_{lll} &= \frac{{}^1\pi_{ll} \cdot {}^2\pi_{ll}}{3\pi_{ll}} \end{aligned}$$

где  ${}^3\pi_{ij}$  - элементы дополнительной матрицы  ${}^3\Pi = {}^1\Pi \times {}^2\Pi$

# Система рекуррентных уравнений нелинейной фильтрации ГРЦИ с 4-мя состояниями

---

$$u_1(v_4) = [f(M_1(v_4)) - f(M_4(v_4))] + u_1(v_1) + z_1(u(v_1), {}^1\hat{\pi}_{ij}) + \\ + u_1(v_2) + z_1(u(v_2), {}^2\hat{\pi}_{ij}) - u_1(v_3) - z_1(u(v_3), {}^3\hat{\pi}_{ij})$$

$$u_2(v_4) = [f(M_2(v_4)) - f(M_4(v_4))] + u_2(v_1) + z_2(u(v_1), {}^1\hat{\pi}_{ij}) + \\ + u_2(v_2) + z_2(u(v_2), {}^2\hat{\pi}_{ij}) - u_2(v_3) - z_2(u(v_3), {}^3\hat{\pi}_{ij})$$

$$u_3(v_4) = [f(M_3(v_4)) - f(M_4(v_4))] + u_3(v_1) + z_3(u(v_1), {}^1\hat{\pi}_{ij}) + \\ + u_3(v_2) + z_3(u(v_2), {}^2\hat{\pi}_{ij}) - u_3(v_3) - z_3(u(v_3), {}^3\hat{\pi}_{ij})$$

$$z_j(u(v_l), {}^l\hat{\pi}_{ij}) = \ln \left[ \frac{\sum_{i=1, i=j}^3 \{ \exp(u_i(v_l) - u_j(v_l)) {}^l\hat{\pi}_{ij} \} + \exp(-u_j(v_l)) {}^l\hat{\pi}_{4j} + \hat{\pi}_{jj}}{\sum_{i=1}^3 \{ \exp(u_i(v_l)) {}^l\hat{\pi}_{i4} \} + \hat{\pi}_{44}} \right], \quad l = \overline{1,3}$$

$$u_j(v_4) = \ln \left[ \frac{p_j(v_4)}{p_4(v_4)} \right] \quad (j = \overline{1,3});$$



# Критерий различения состояний элементов ГРЦИ

---

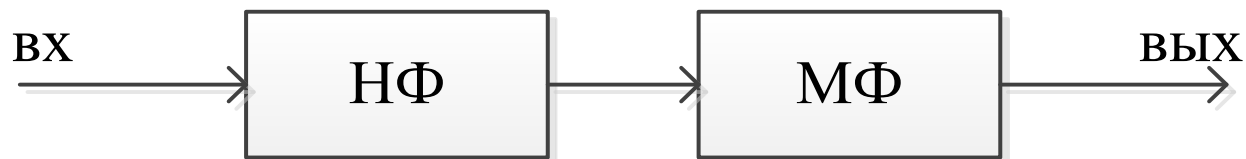
Если  $u_j(v_4) > u_i(v_4)$ ;  $i, j = \overline{1,3}$ ;  $i \neq j$ ,

то принимается решение о состоянии элемента изображения  $v_4 = M_j$ ,

если все значения  $u_j(v_4) \leq 0$  ( $j = \overline{1,3}$ ),

то принимается решение о состоянии элемента изображения  $v_4 = M_4$ .

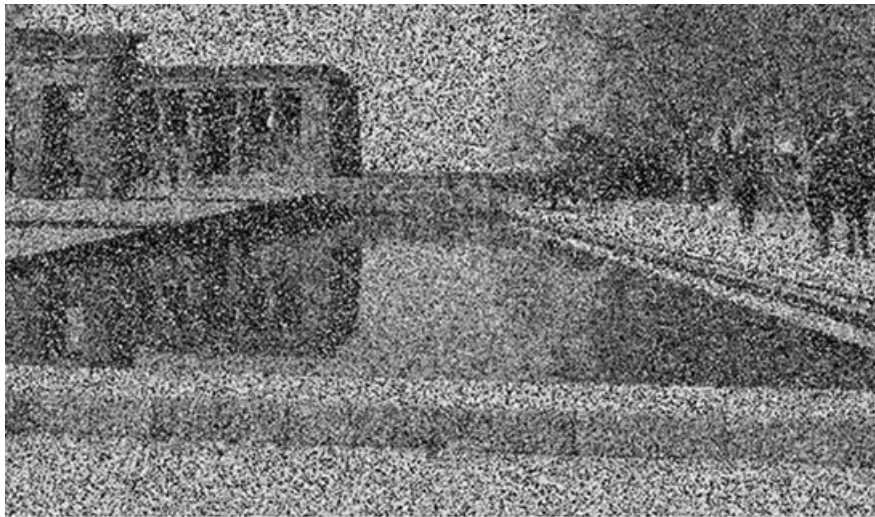
## Комбинированный нелинейный фильтр



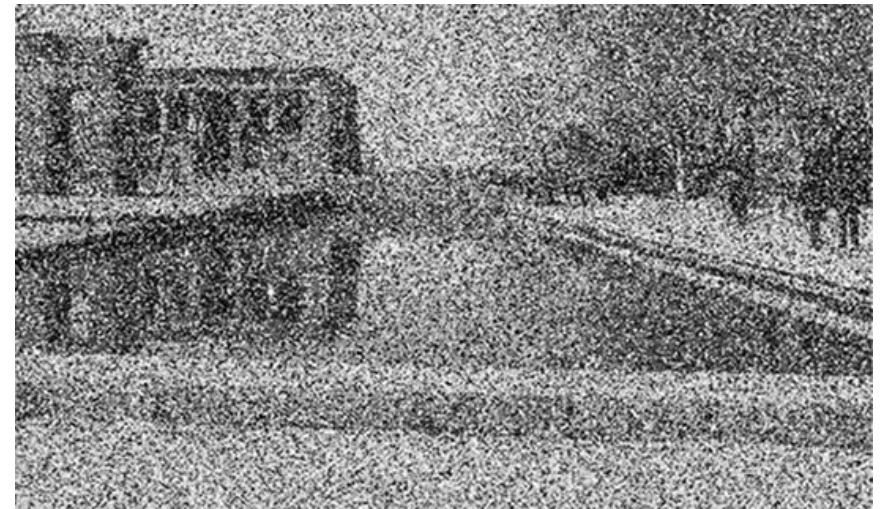
# Результаты комбинированной фильтрации ЦИ



Исходное 16-разрядное ЦПИ



$$\text{СКО} = 2,84 \cdot 10^8$$



$$\text{СКО} = 3,09 \cdot 10^8$$

Зашумленное ЦПИ ( $\rho_s^2 = -6\text{дБ}$ )

# Результаты комбинированной фильтрации ЦИ



СКО =  $0,28 \cdot 10^8$



СКО =  $0,35 \cdot 10^8$



СКО =  $0,11 \cdot 10^8$



СКО =  $0,10 \cdot 10^8$

Восстановленное ЦИ

## Выводы

---

- Представление цифровых изображений в виде набора ГРЦИ и передача их многофазными сигналами позволяет сократить время передачи изображений по каналу связи в 2 и более раз
- Разработанный комбинированный алгоритм нелинейной фильтрации эффективно реализует пространственную и междуразрядную статистическую избыточность изображений и компенсирует потери помехоустойчивости, возникающие при делении фазы
- Алгоритм может эффективно применяться при передаче изображений при низком отношении сигнал/шум, в беспилотных летательных аппаратах и в условиях искусственного подавления шумов

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ**