

ОЦЕНКА РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ МАТЕРИАЛОВ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ НА ОСНОВЕ ИХ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Еремеев В.В., Князьков П.А.

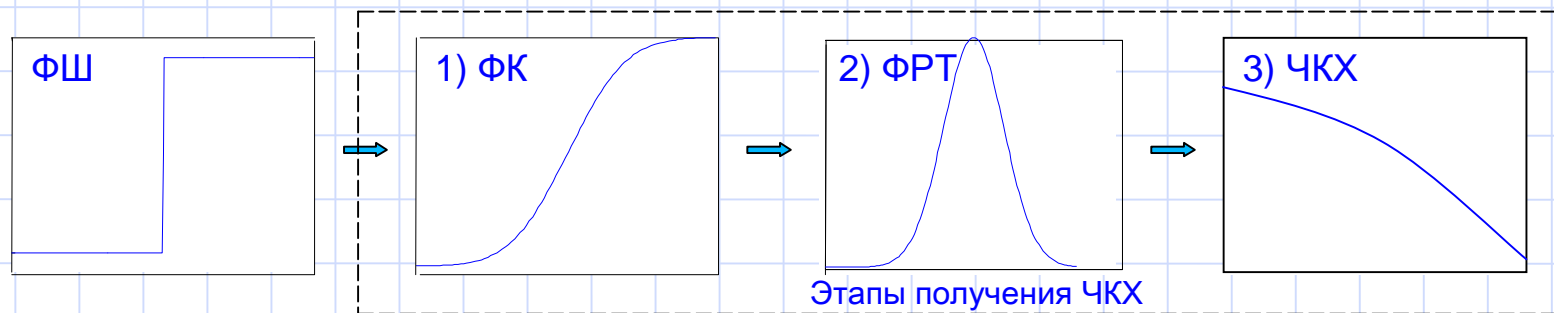
*Рязанский государственный радиотехнический университет
390005, г. Рязань, ул. Гагарина, 59/1
e-mail: foton@rgrta.ryazan.ru; тел./факс (4912) 46-03-72*

Основы подходов оценки частотно-контрастной характеристики и СКО шума

- ◆ Анализ контрастных границ объектов, направление которых не совпадает с направлениями строчной и кадровой разверток видеодатчика

Получение ЧКХ:

- 1) субпиксельное восстановление ФК системы по контрастным границам изображения;
- 2) численное или параметрическое получение ФРТ системы на основе ФК;
- 3) вычисление ЧКХ как модуля частотного представления ФРТ системы.

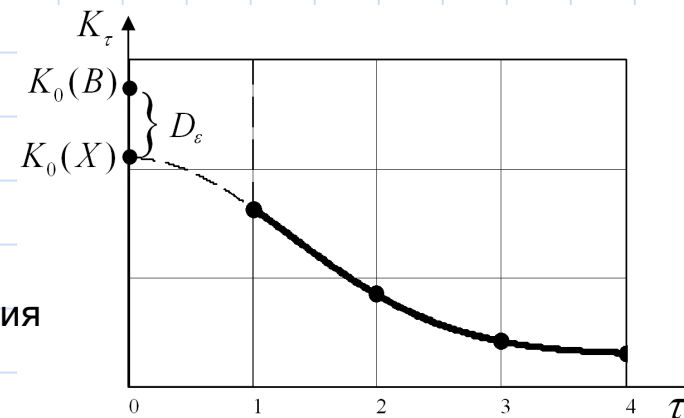


- ◆ В качестве модели шума используется модель аддитивного независимого шума

Добавление шума увеличивает дисперсию

$$\text{сигнала } D_B = D_X + D_\varepsilon$$

Шум отдельного фотоприемника определяется как разность дисперсии кодов яркости столбца и значения АКФ в точке 0, прогнозируемого по значениям АКФ в точках 1, 2, 3, ...



Получение ФК системы

◆ Выбор области анализа (ОА): $D(m, n)$, $m = \overline{1, M}$, $n = \overline{1, N}$

◆ Поиск положения контура:

$$P(m, n) = |D(m, n+1) - D(m, n-1)|, \quad m = \overline{1, M}, \quad n = \overline{2, N-1}$$

$$P^*(m, n) = \begin{cases} P(m, n), & |n - N_{\max}| < \Delta_N, \\ 0, & \text{иначе,} \end{cases}$$

$$N_{\max} = \arg \max_n P(m, n)$$

Δ_N - допустимое размытие контура

Положение контура N_m в каждой строке $m = \overline{1, M}$

$$N_m = \left[\frac{\sum_{n=2}^{N-1} n \cdot P^*(m, n)}{\sum_{n=2}^{N-1} P^*(m, n)} \right]$$

◆ Аппроксимация координат (N_m, m) , $m = \overline{1, M}$ по МНК:

$$x(m) = \sum_{i=0}^S a_i m^i$$

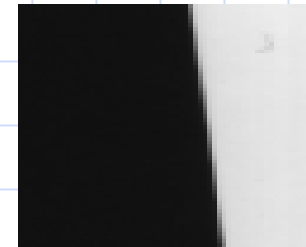
◆ Формирование ФК:

$$g(n - x(m)) = D(m, n), \quad m = \overline{1, M}, \quad n = \overline{1, N}$$

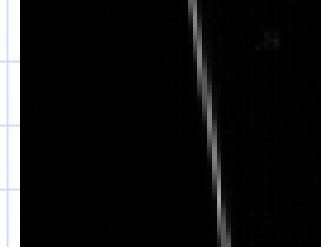
◆ Объединение ФК по S ОА:

$$\hat{g}_s(x) = \left(\frac{b_s - a_s}{b_s - a_s} \right) (g_s(x) - a_s) + a_s, \quad s = \overline{1, S}$$

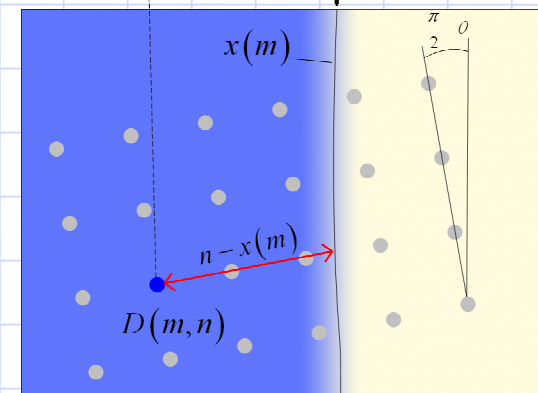
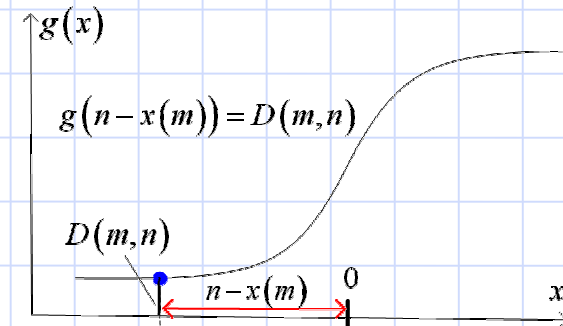
a_s, b_s - нижние и верхние уровни $g_s(x)$



Изображение ОА

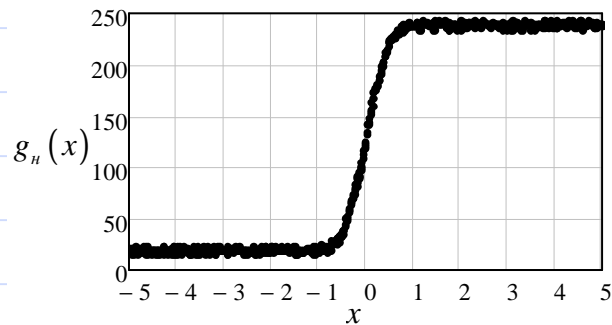


Изображение $P(m, n)$



Формирование ФК

Получение ФРТ и ЧКХ системы



Нормализованная ФК

Определение ФРТ системы путем непосредственного взятия производной от ФК невозможно по причинам:

- ◆ содержание в изображении шумовой составляющей;
- ◆ отсутствие полной однородности областей «объекта» и «фона».

Предлагаются два подхода получения ФРТ по зашумленным отсчетам ФК:

- ◆ сглаживание отсчетов ФК по МНК;
- ◆ аппроксимация отсчетов ФК аналитическими уравнениями.

Аналитические уравнения для аппроксимации ФК: q_j

$$q_1(x, k) = \frac{(I_0 + I_\Phi)}{2} + \frac{|I_0 - I_\Phi| \arctan(k \cdot x)}{\pi}$$

$$q_2(x, k) = \frac{(I_0 + I_\Phi)}{2} + \frac{|I_0 - I_\Phi| \left(\frac{e^{k \cdot x} - e^{-k \cdot x}}{e^{k \cdot x} + e^{-k \cdot x}} \right)}{2}$$

$$q_3(x, k) = \frac{(I_0 + I_\Phi)}{2} + \frac{|I_0 - I_\Phi|}{k\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{x^2}{2k^2}} dx$$

Параметр k определяется из условия

минимизации ошибки: $e_j = \sum_x \left(g_i(x) - q_j(x, k) \right)^2$

Выбор аппроксимирующей функции из условия: $q_j : j = \arg \left(\min_{e_j} (e_j) \right), j = 1, 2, 3$

Оценка дисперсии шума изображения

Отсчеты АКФ n-го столбца видеоданных:

$$\hat{K}_{n\tau} = \begin{cases} K_{n0} + \sigma_{n\epsilon}^2, & \tau = 0; \\ K_{n\tau}, & \tau = 1, 2, \dots, \end{cases}$$

Модели АКФ:

Параметры моделей:

$$K_{\tau} = ae^{-c\tau^2}$$

$$a = \sqrt[3]{\frac{K_1^4}{K_2}}, \quad c = \frac{1}{3} \ln \frac{K_1}{K_2}$$

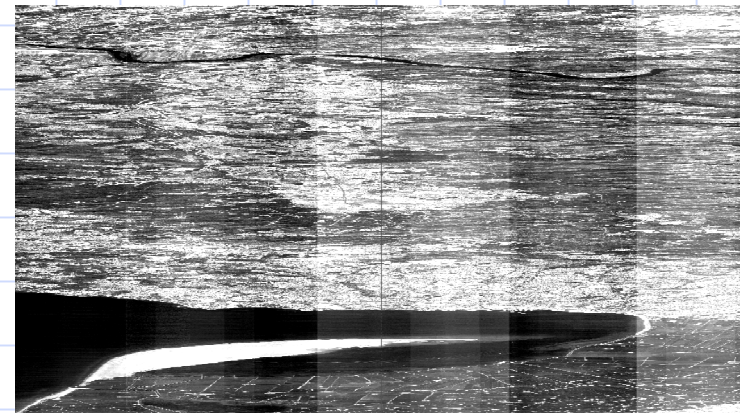
$$K_{\tau} = a + c\tau^2$$

$$a = \frac{1}{3}(4K_1 - \hat{K}_2), \quad \tilde{n} = \frac{1}{3}(-K_1 + K_2)$$

$$K_{\tau} = \frac{a}{1 + c\tau^2}$$

$$\hat{a} = \frac{3K_2K_1}{4K_2 - \hat{K}_1}, \quad c = \frac{K_1 - K_2}{4K_2 - K_1}$$

Видеоданные от датчика сканового принципа действия



Дисперсия шума столбца n фрагмента s:

$$\sigma_{sn\epsilon}^2 = \hat{K}_{sn0} - a$$

СКО шума изображения по S фрагментам:

$$\sigma_{\epsilon} = \frac{\sum_{s=1}^S \hat{\rho}_s \cdot \sigma_{s\epsilon}}{\sum_{s=1}^S \hat{\rho}_s}$$

Мера однородности фрагмента:

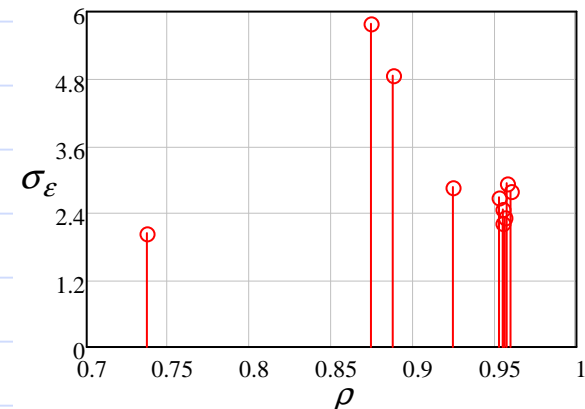
$$\rho_s = \frac{\overline{K_{s2}}}{\overline{K_{s1}}}$$

Исключение аномальных фрагментов:

$$\hat{\rho}_s = \begin{cases} \rho_s, & \rho_s \geq \rho_{\bar{I}}; \\ 0, & \rho_s < \rho_{\bar{I}}, \end{cases}$$

Дисперсия шума фрагмента изображения:

$$\sigma_{s\epsilon}^2 = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \sigma_{sn\epsilon}^2$$



Экспериментальная апробация и точностные характеристики технологий

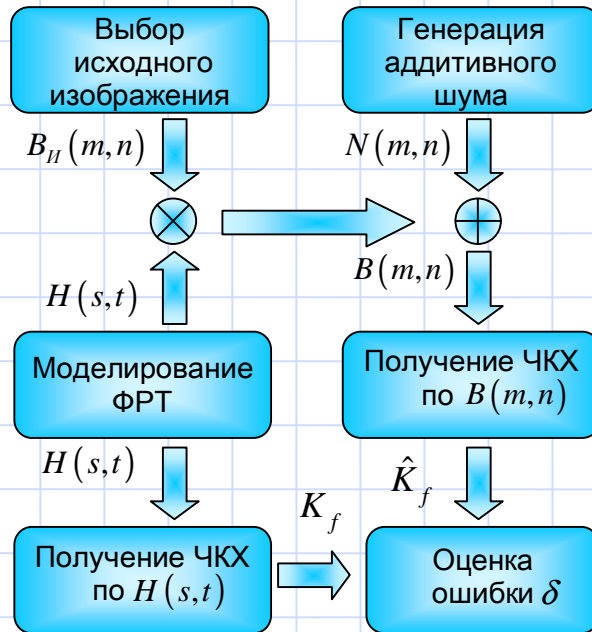


Схема эксперимента

Формирование изображения $B(m,n)$:

$$B(m,n) = \frac{\sum_{s=-a}^a \sum_{t=-a}^a H(s,t) B_{\text{И}}(m+s, n+t)}{\sum_{s=-a}^a \sum_{t=-a}^a H(s,t)} + N(m,n)$$

Получение отсчетов матрицы ФРТ с использованием двумерной функции:

$$H(x,y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi a}} e^{-\frac{x^2+y^2}{2a^2}}$$

Прогноз ЧКХ: $K_f = K_{И_f} \cdot K_{H_f}$

Ошибка определения ЧКХ: $\delta = \left| \hat{K}_f - K_f \right| / K_f$

Результат: $\delta \approx 0,05 - 0,09 \quad \sigma_N \leq 2$

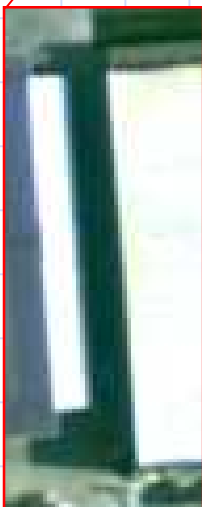
КА Ресурс-ДК: 1.17 пикс. по кадровому и 1.16 пикс. строчному направлениям разверток видеодатчика

Дисперсия оценки дисперсии: $\sigma_{\hat{K}_0}^2 = \frac{2K_0^2}{N}$ При $\sigma_{\hat{K}_0} \leq 0,1\sigma_\varepsilon$ размер выборки $N = 200 \frac{K_0^2}{\sigma_{ш}^2}$

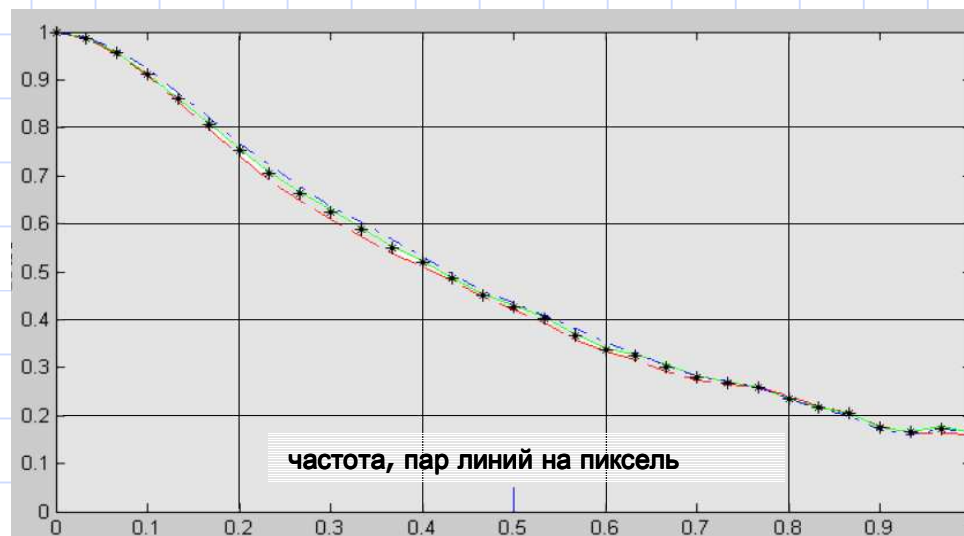
СКО оценки шума для фрагментов изображений: $\sigma_{\bar{y}} \approx 0,1 \quad \rho_{II} = 0,95$

КА Ресурс-ДК: $\sigma_\varepsilon \approx 1,5 - 2,5$

Оценка ЧКХ на реальном изображении



ЧКХ



Оценка дисперсии шума на реальном изображении

