

## Передача контраста изображений, полученных с использованием лазерной системы видения



## Понятие МПФ

По определению модуляционная передаточная функция является отношением модуляционных контрастов изображения и объекта в виде функции пространственной частоты  $\nu$ :

$$T(\nu) = \frac{k_{\text{из}}(\nu)}{k_{\text{об}}(\nu)}, \quad k_{\text{об}}(\nu) = \frac{L_{\text{об}}(\nu) - L_{\phi}(\nu)}{L_{\text{об}}(\nu) - L_{\phi}(\nu)},$$

Для понимания смысла МПФ рассмотрим объект с косинусоидальным распределением коэффициента отражения относительно среднего значения на фоне с нулевой яркостью

**Распределение яркости объекта (одной гармонике пространственной частоты):**

$$L(v_x) = \bar{L} + \Delta L \cos(2, v_x x)$$

**Изображение объекта в виде гармонике пространственной частоты:**

$$L(v_x) = \bar{L} + \Delta L T(v_x) \cos(2 v_x x, + \varphi_x)$$

**отличается от объекта двумя особенностями.**

***1-ая особенность*** Глубина модуляции ( $m$ ), равная отношению амплитуды переменной составляющей к среднему значению (к постоянной составляющей), оказывается меньше, чем на объекте, поскольку:

$$m = \frac{\Delta L}{\bar{L}} - \text{глубина модуляции объекта;}$$

$$m' = \frac{\Delta L T(\nu)}{\bar{L}} - \text{глубина модуляции}$$

изображения ;  $T(\nu) \leq 0$ .

**Определим модуляционный контраст  
объекта**

$$k_{\text{об}} = \frac{(\bar{L} + \Delta L) - (\bar{L} - \Delta L)}{(\bar{L} + \Delta L) + (\bar{L} - \Delta L)} = \frac{\Delta L}{\bar{L}} = \frac{\Delta \rho}{\bar{\rho}} = m.$$

**Определим модуляционный контраст  
изображения**

$$k_{\text{из}} = \frac{\Delta L T(\nu)}{\bar{L}} = \frac{\Delta \rho T(\nu)}{\bar{\rho}} = m'$$

**Получим модуляционную передаточную  
функцию**

$$T(\nu_x) = \frac{m'}{m} = \frac{k_{\text{из}}}{k_{\text{об}}}.$$

**Отношение глубин модуляции (изображения к объекту) на каждой пространственной частоте и модуляционный контраст объекта – это и есть модуляционная передаточная функция.**

***2-ая особенность.* Сдвиг косинусоиды по фазе (при абберрации оптических систем, дефектах юстировки). Там, где данные негативные явления сведены к минимуму, можно считать, что  $\varphi_x = 0$ .**

# Воспринимаемый контраст в изображении

**Значение модуляционного контраста не совпадает со значением воспринимаемого контраста.**

**Наиболее отчетливо эти расхождения проявляются там, где изображение формируется на экране монитора и анализируется оператором.**

**Пусть изображение содержит  $m \times n$  элементов (пикселей), а распределение яркости описывается двумерной дискретной функцией  $L(x,y) = Lmn$ .**

## Средний уровень яркости в изображении

$$\bar{L} = \frac{1}{mn} \sum_m \sum_n L_{mn}.$$

## Воспринимаемый контраст в изображении

$$k_{\text{воспр}} = \frac{\sqrt{\frac{1}{mn} \sum_m \sum_n (L_{mn} - \bar{L})^2}}{\bar{L}}.$$

**Данный контраст характеризует отклонение яркостного уровня элементов изображения от среднего.**

## Расчетное задание для усвоения лекционного материала № 1:

Для индикатора  $256 \times 256$  с уровнями яркости от 0 до 255 вычислить воспринимаемый контраст при 64 пикселях с максимальной яркостью, 64 пикселей с нулевой яркостью и остальных пикселях с яркостями

А) 128

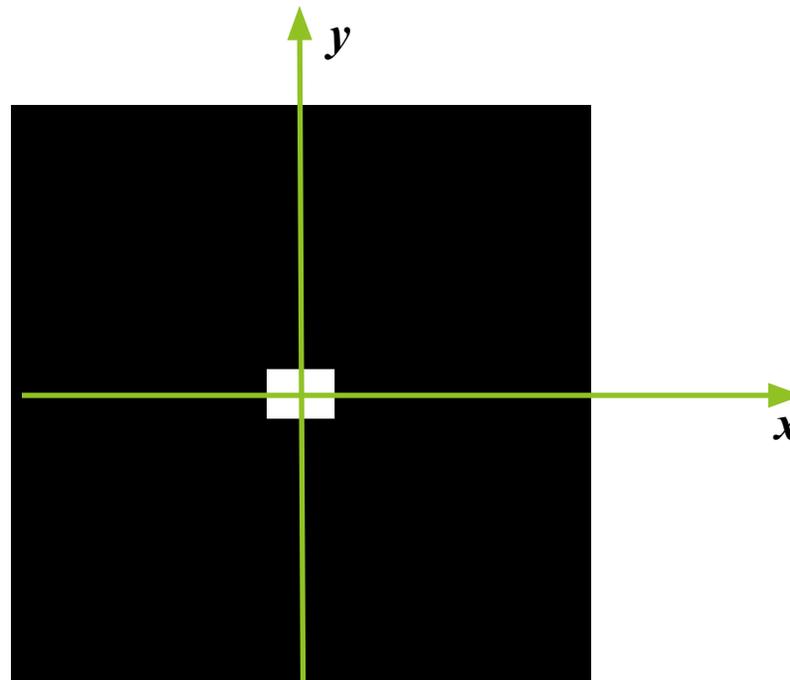
Б) 64

С) 192.

Рассчитать для данных случаев модуляционный контраст и сравнить с воспринимаемым.

# Случай наблюдения объекта прямоугольной формы

Рассмотрим случай видения объекта прямоугольной формы с распределением яркости, равной единице на поверхности объекта, и нулю в области фона



$$L(x, y) = \begin{cases} 1 & |x| \leq a/2; |y| \leq b/2 \\ 0 & |x| > a/2; |y| > b/2 \end{cases},$$

**$a$  – длина стороны прямоугольного объекта вдоль оси  $x$ , а  $b$  – вдоль оси  $y$ . Пространственно-частотный спектр в этом случае:**

$$\begin{aligned} \tilde{L}(v_x, v_y) &= \int_{-a/2}^{a/2} \int_{-b/2}^{b/2} \exp(-i2\pi(v_x x + v_y y)) dx dy = \\ &= \int_{-a/2}^{a/2} \exp(-i2\pi v_x x) dx \int_{-b/2}^{b/2} \exp(-i2\pi v_y y) dy. \end{aligned}$$

**Учитывая, что:**

$$\int_{-a/2}^{a/2} \exp(-i2\pi\nu_x x) dx = a \frac{\sin\left(2\pi\nu_x \frac{a}{2}\right)}{2\pi\nu_x \frac{a}{2}},$$

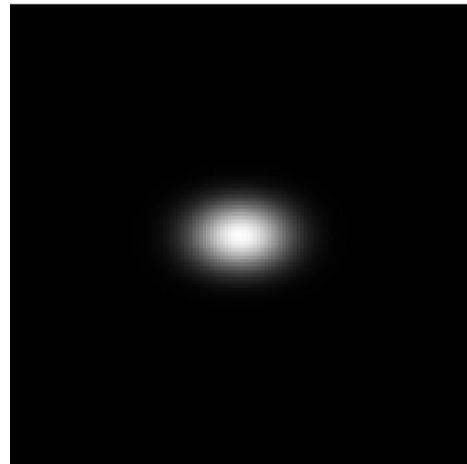
**получаем выражение для вычисления модуля  
пространственно-частотного спектра**

$$\begin{aligned} \left| \tilde{L}(\nu_x, \nu_y) \right| &= ab \left| \frac{\sin\left(2\pi\nu_x \frac{a}{2}\right) \sin\left(2\pi\nu_y \frac{b}{2}\right)}{2\pi\nu_x \frac{a}{2} \cdot 2\pi\nu_y \frac{b}{2}} \right| = \\ &= ab \left| \operatorname{sinc}\left(2\pi\nu_x \frac{a}{2}\right) \operatorname{sinc}\left(2\pi\nu_y \frac{b}{2}\right) \right|. \end{aligned}$$

**Пусть данный спектр проходит через МПФ,  
которая имеет форму фильтра Гаусса**

$$\left| \tilde{L}_{\Phi}(v_x, v_y) \right| = \exp\left[-(2\pi v_x)^2 a / 2\right] \exp\left[-(2\pi v_y)^2 b / 2\right].$$

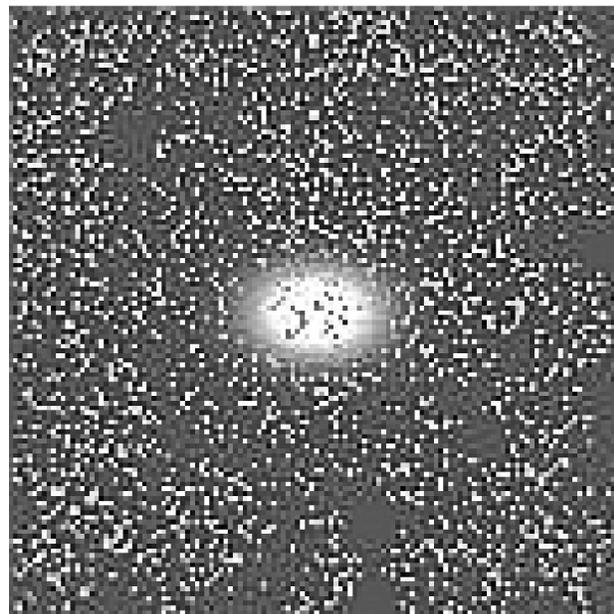
**Произведение спектра сигнала на спектр фильтра  
приведет к формированию изображения, которое будет  
представлять свертку исходного распределения яркости  
со следующей функцией**  $S(x, y) = \exp(-x^2 / a^2) \exp(-y^2 / b^2)$



**Вследствие наличия помехи обратного рассеяния от солнечной или лунной засветки наблюдаемый контраст фона и объекта меняется, что приводит к дополнительному искажению изображения**



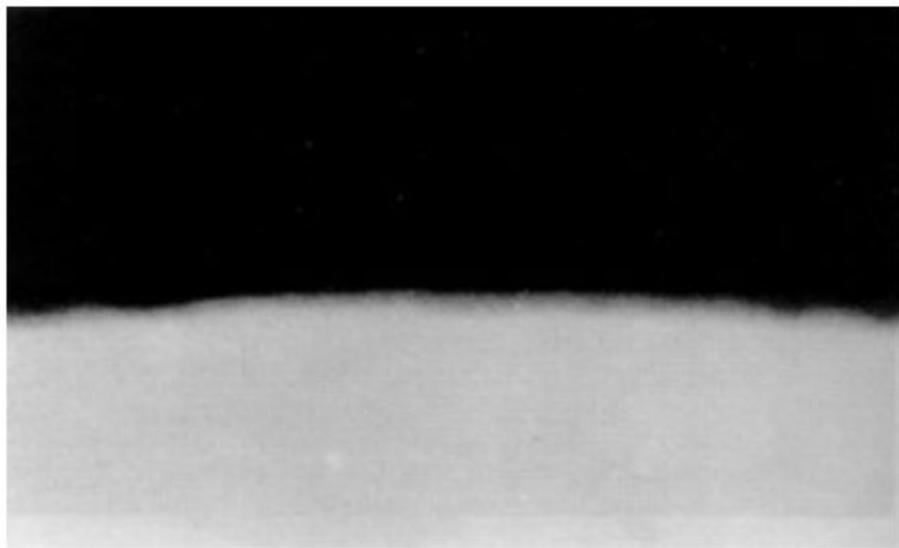
**При слабом сигнале или недостаточном времени накопления (недостаточной экспозиции) изображение искажается вследствие проявления на изображении тепловых шумов фотоприемной матрицы**



## Примеры изображений в системе со стробированием по дальности



## И в отсутствии стробирования по дальности



**Расчетное задание для усвоения  
лекционного материала № 2:  
Выбрать длительность  
импульса стробирования для  
получения изображения  
танка типа Т-34 (при  
ракурсе наблюдения сбоку)**