Оптоэлектроника

Лекция 4

Представление аналогового сигнала в дискретной форме

Краснов В.В., Черёмхин П.А.

Матричные устройства ввода и регистрации изображений

2.1 Display parameter

Part no.	HED 6010 xxx
Type:	LCOS (reflective), Active Matrix LCD
Drive scheme:	digital (pulse width modulation)
Mode:	ECB mode, nematic
Phase levels:	256 (8-bit) grey levels
Active Area:	15.36 mm x 8.64 mm
Weight:	12 grams
Resolution:	
Nominal:	1920 x 1080 pixels
Total:	1952 x 1088 pixels
Pixel Pitch:	8.0 µm
Fill Factor:	87%
Image Frame Rate:	60 Hz
0th order intensity	60%
Illumination (max.)	~ 2 W / cm². For high power applications please contact HOLOEYE.
Operating temp.:	+10°C to +70°C
Waveband:	UV irradiation shall be blocked via an absorption filter

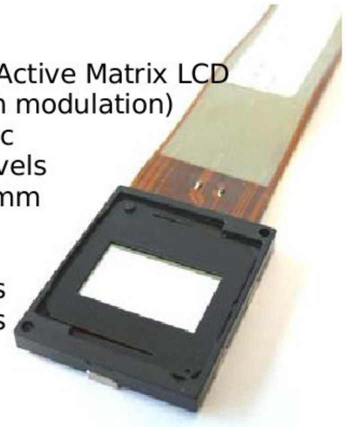
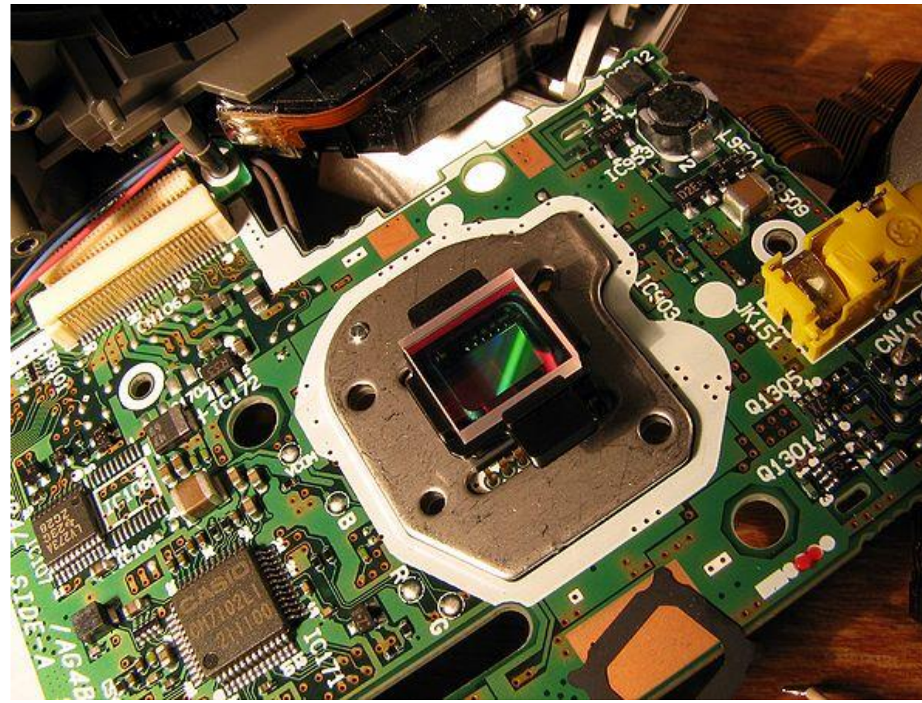
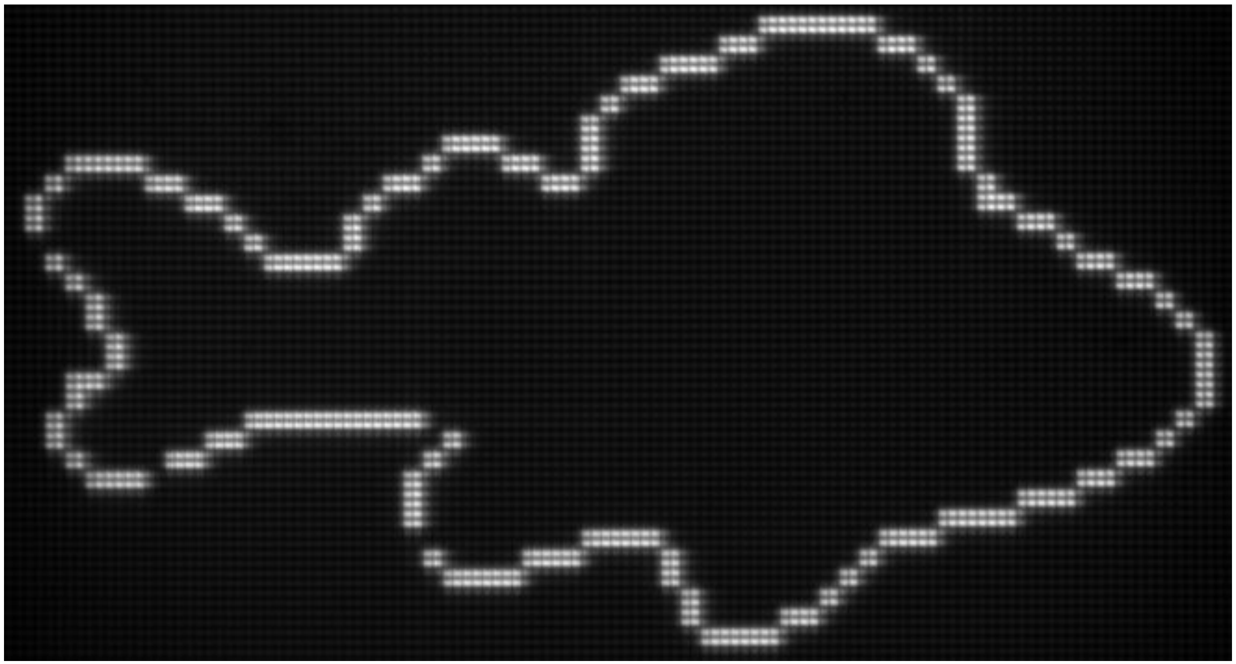


Figure 3: HD phase display

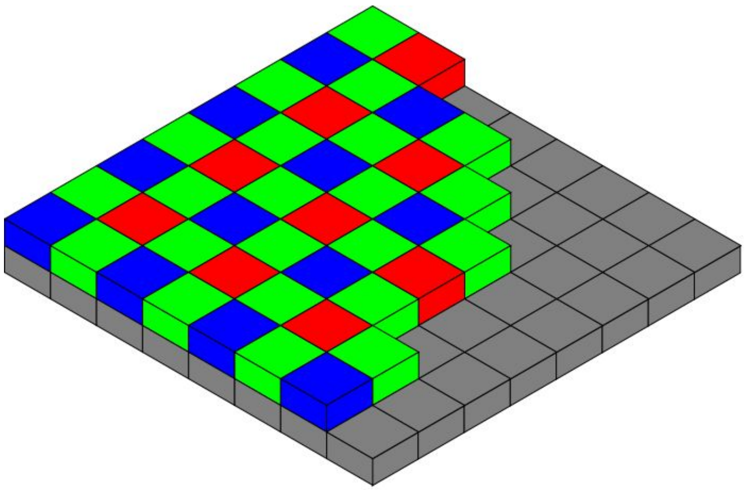


Модуляторы света **Матричные фотосенсоры**

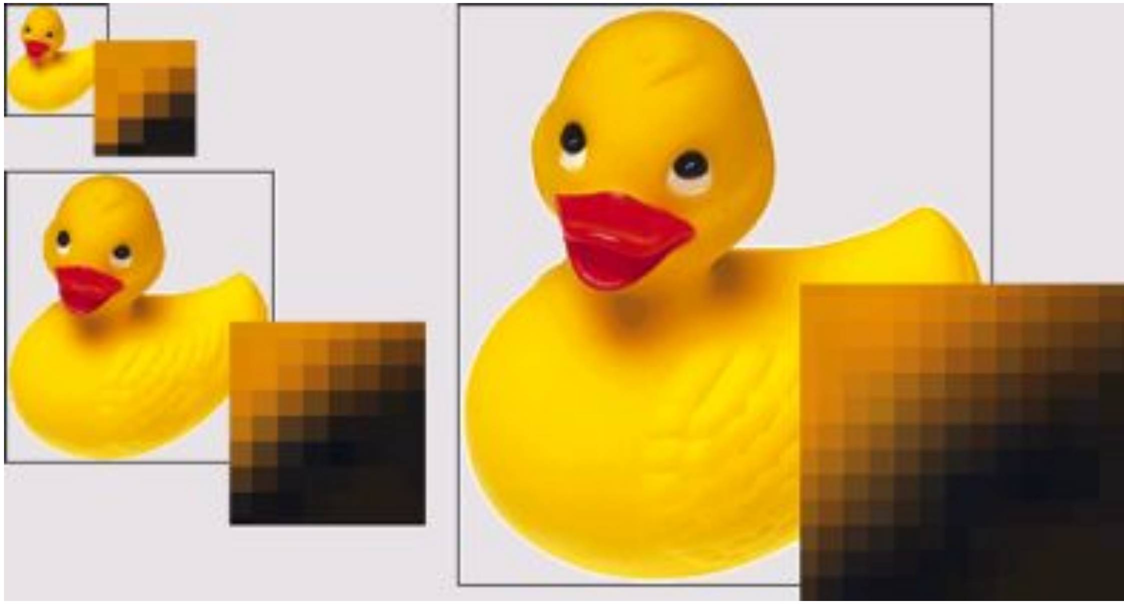
Примеры изображений введенных в систему посредством модулятора света



Регистрация светового распределения посредством матричного фотосенсора

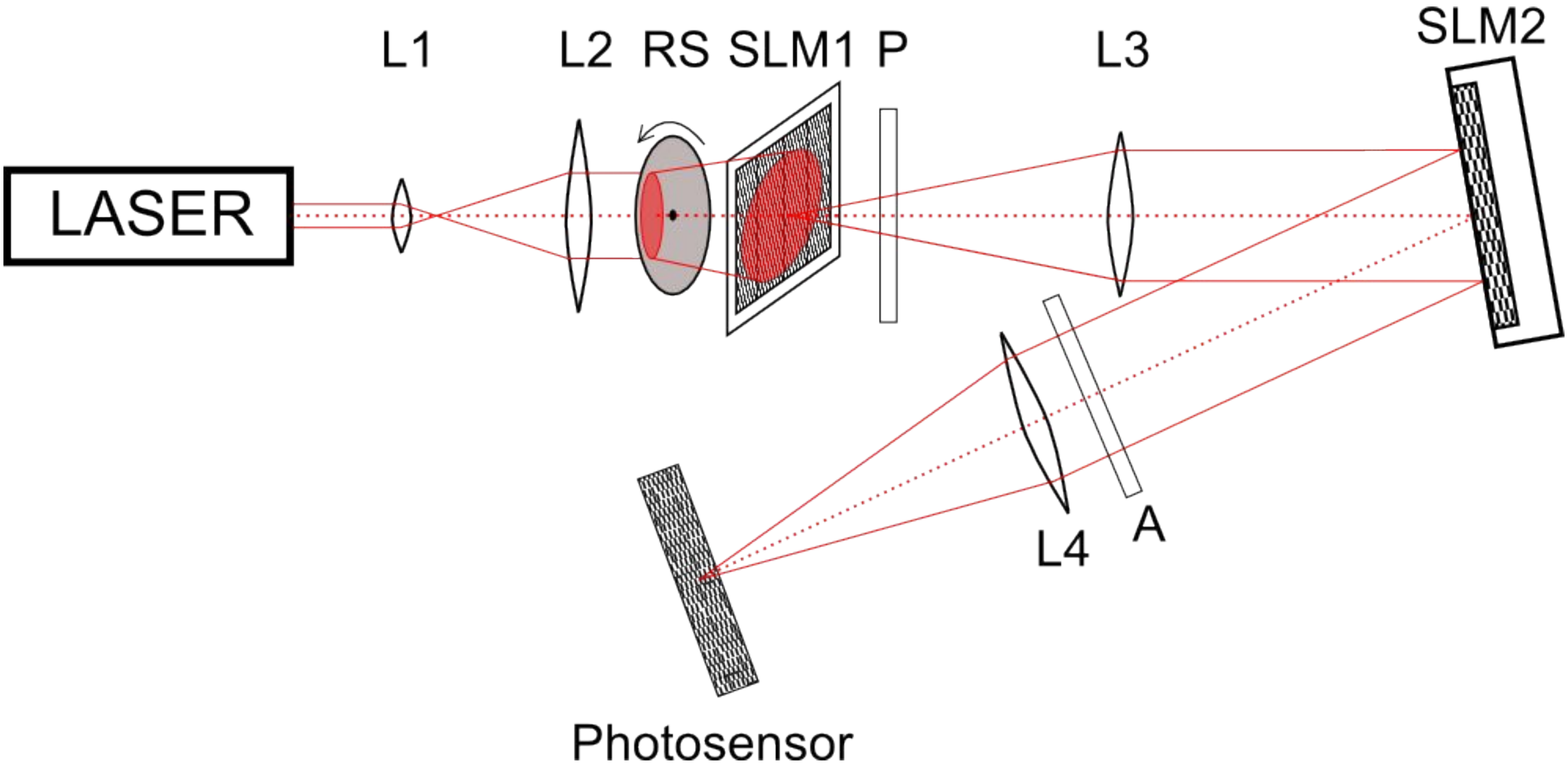


Матричный фотосенсор с массивом светофильтров Байера

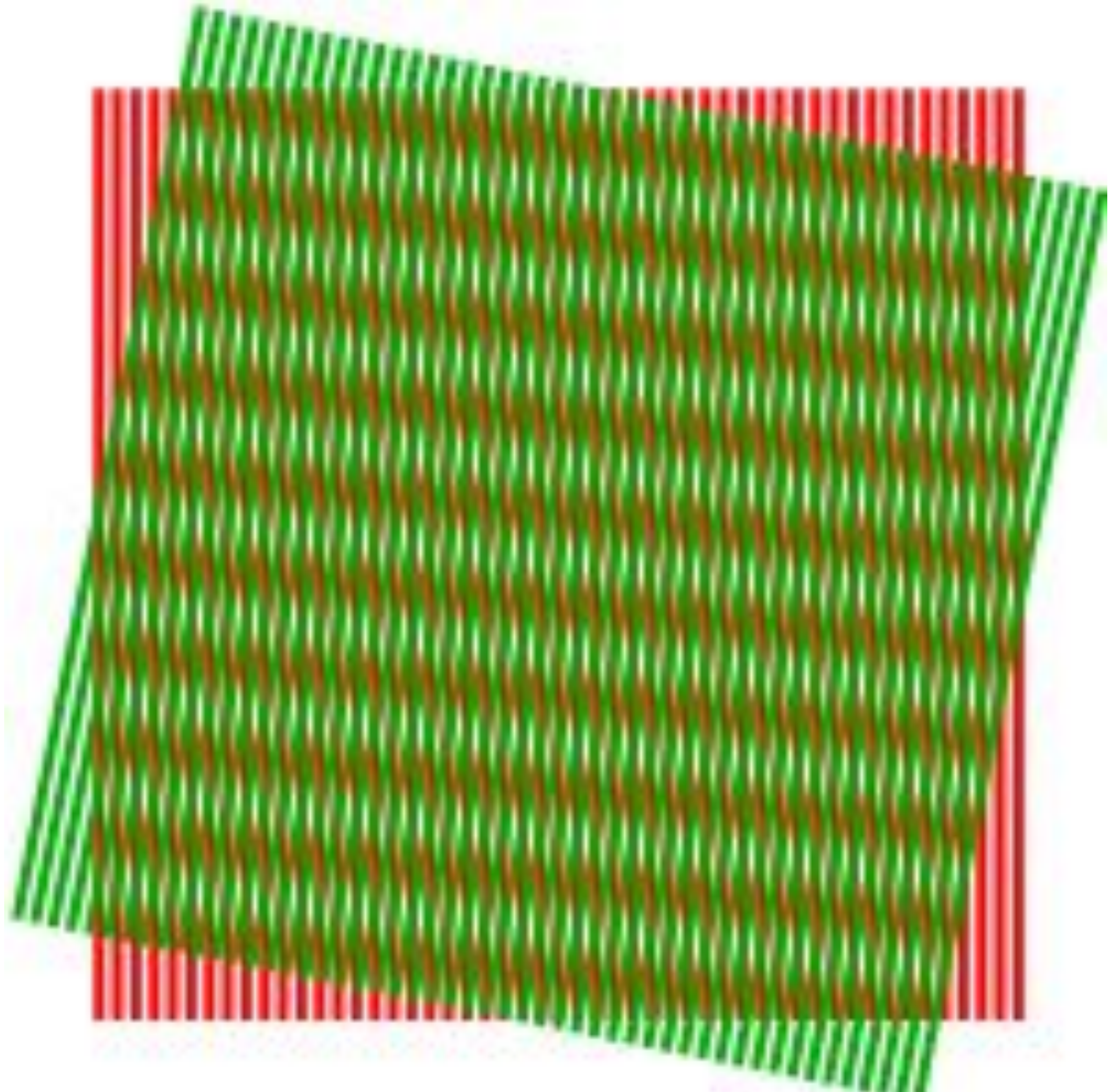


Изображение, полученное с матричного фотосенсора

Пример оптоэлектронной системы, использующей модуляторы света и матричный фотосенсор



Эффект наложения, алайзинг, муар



Представление непрерывной функции в дискретном виде

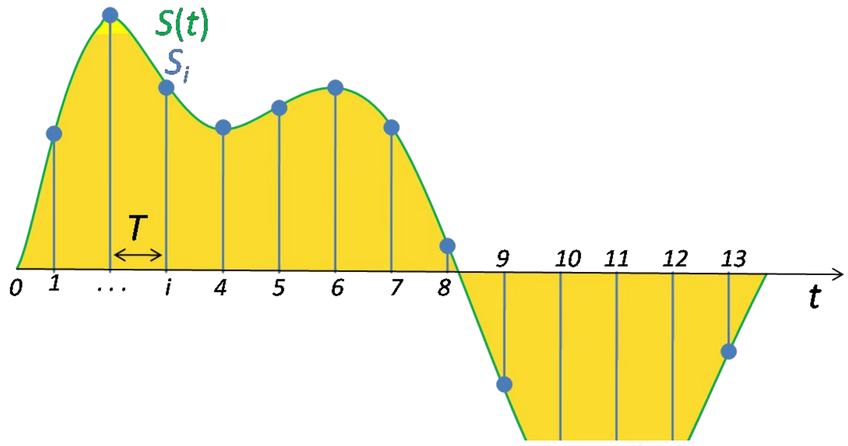
- Имеется непрерывная функция *g(x,y)*.
- Дискретизация описывается функцией выборки вида:

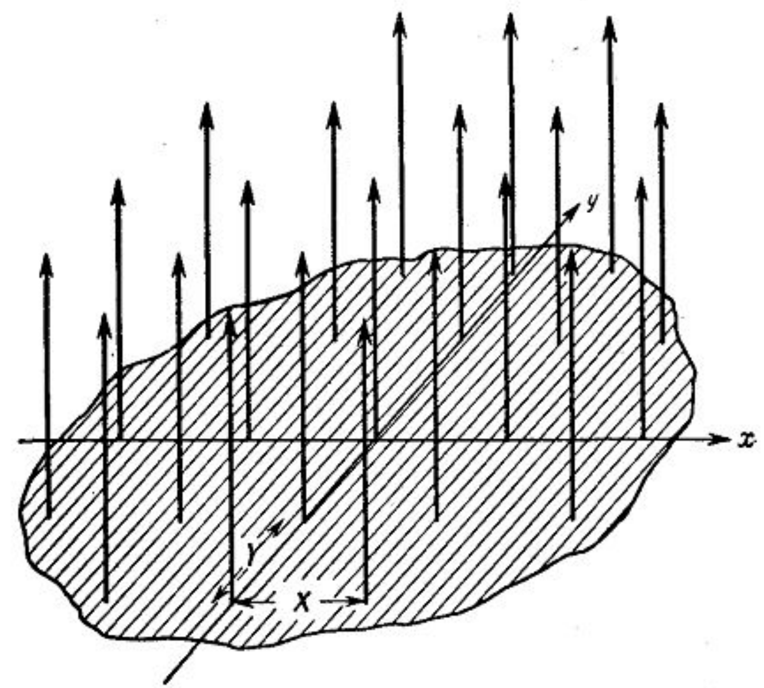
$$comb\left(\frac{x}{X}\right)\cdot comb\left(\frac{y}{Y}\right)$$

где
$$comb(x)=\sum_{n=-\infty}^{\infty}\delta(x-n)$$

- Тогда после дискретизации функция *g(x,y)* примет вид:

$$g_s(x,y)=comb\left(\frac{x}{X}\right)\cdot comb\left(\frac{y}{Y}\right)\cdot g(x,y)$$





Теорема Котельникова (Шеннона-Уиттекера)

- Если спектр функции g ограничен некоторой частотой R, то, в случае если частота выборки больше или равна $2R$, исходная функция g может быть <u>точно</u> восстановлена из дискретной функции g_s.
- Частота R называется частотой Найквиста.

Разложение функции в спектр. Преобразование Фурье

- Преобразование Фурье разлагает функцию в ряд гармонических функций различной частоты:

$$\hat{f}(\xi) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)\ e^{-2\pi i x \xi}\, dx$$

- Обратное преобразование Фурье собирает разложенную в спектр функцию обратно:

$$f(x) = \int_{-\infty}^{\infty} \hat{f}(\xi)\ e^{2\pi i \xi x}\, d\xi$$

Доказательство теоремы Котельникова

$$g_s(x,y) = comb(\frac{x}{X}) \cdot comb(\frac{y}{Y}) \cdot g(x,y)$$

Найдем спектр $G_s(f_x,f_y)$ функции $g_s(x,y)$:

$$G_s(f_X, f_Y) = F\{\mathrm{comb}(\frac{\mathrm{x}}{\mathrm{X}}) \cdot comb(\frac{y}{Y}) \cdot g(x,y)\}$$

Воспользовавшись теоремой свертки, запишем:

$$G_s(f_X, f_Y) = F\{\mathrm{comb}(\frac{\mathrm{x}}{\mathrm{X}}) \cdot comb(\frac{y}{Y})\} \otimes G(f_X, f_Y)$$

Воспользовавшись теоремой подобия, получаем:

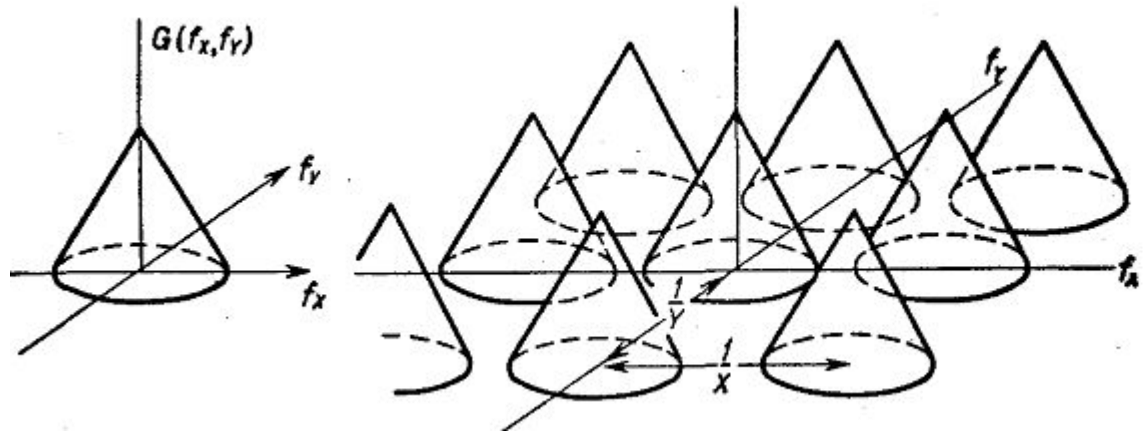
$$F\{\mathrm{comb}(\frac{\mathrm{x}}{\mathrm{X}}) \cdot comb(\frac{y}{Y})\} = X \cdot Y \cdot comb(X \cdot f_X) comb(Y \cdot f_Y) =$$

$$= X \cdot Y \cdot \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(X \cdot f_x - n) \cdot \sum_{m=-\infty}^{\infty} \delta(Y \cdot f_y - m) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{m=-\infty}^{\infty} \delta(f_x - \frac{n}{X}, f_y - \frac{m}{Y})$$

Получаем выражение для спектра:

$$G_s(f_X,f_Y)=\{\sum_{n=-\infty}^{\infty}\sum_{m=-\infty}^{\infty}\delta(f_x-\frac{n}{X},f_y-\frac{m}{Y})\}\otimes G(f_X,f_Y)=$$

$$=\sum_{n=-\infty}^{\infty}\sum_{m=-\infty}^{\infty}G(f_x-\frac{n}{X},f_y-\frac{m}{Y})$$



- Таким образом, спектр функции g_s можно найти путем построения спектра функции g вокруг каждой точки *(n/X, m/Y)* частотной плоскости.
- Чтобы получить исходный спектр G из спектра G_s нужно вырезать член с индексами $n=0$, $m=0$. Если спектры не накладываются, то исходный спектр будет восстановлен без искажений.
- Найдем граничные условия для непересечения спектров. Предположим, что спектр G полностью помещается в прямоугольник со сторонами $2B_x$ и $2B_y$, тогда условиями непересечения спектров будут:

$$X\le\frac{1}{2B_X}\quad \text{и} \quad Y\le\frac{1}{2B_Y}$$

Для выделения составляющей спектра *G* с индексами *n=0, m=0* можно использовать оконный фильтр вида:

$$H(f_X, f_Y) = rect(\frac{f_X}{2B_X}) \cdot rect(\frac{f_Y}{2B_Y})$$

После применения такого фильтра спектр примет вид:

$$G_s(f_X, f_Y) \cdot rect(\frac{f_X}{2B_X}) \cdot rect(\frac{f_Y}{2B_Y}) \equiv G(f_X, f_Y)$$

Эквивалентное тождество можно записать в пространстве координат:

$$\left[comb(\frac{x}{X}) \cdot comb(\frac{y}{Y}) \cdot g(x,y)\right] \otimes h(x,y) = g(x,y)$$

где *h(x,y)* - импульсный отклик фильтра:

$$h(x,y) = \int \int_{-\infty}^{\infty} rect(\frac{f_X}{2B_X}) \cdot rect(\frac{f_Y}{2B_Y}) \cdot \exp[j2\pi(f_X x + f_Y y)] df_X df_y =$$

$$= 4B_X B_Y \cdot \sin c(2B_X x) \cdot \sin c(2B_Y y)$$

Выразив

$$comb(\frac{x}{X}) \cdot comb(\frac{y}{Y}) \cdot g(x,y) = XY \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{m=-\infty}^{\infty} g(nX, mY) \cdot \delta(x - nX, y - mY)$$

можно переписать выражение для *g*:

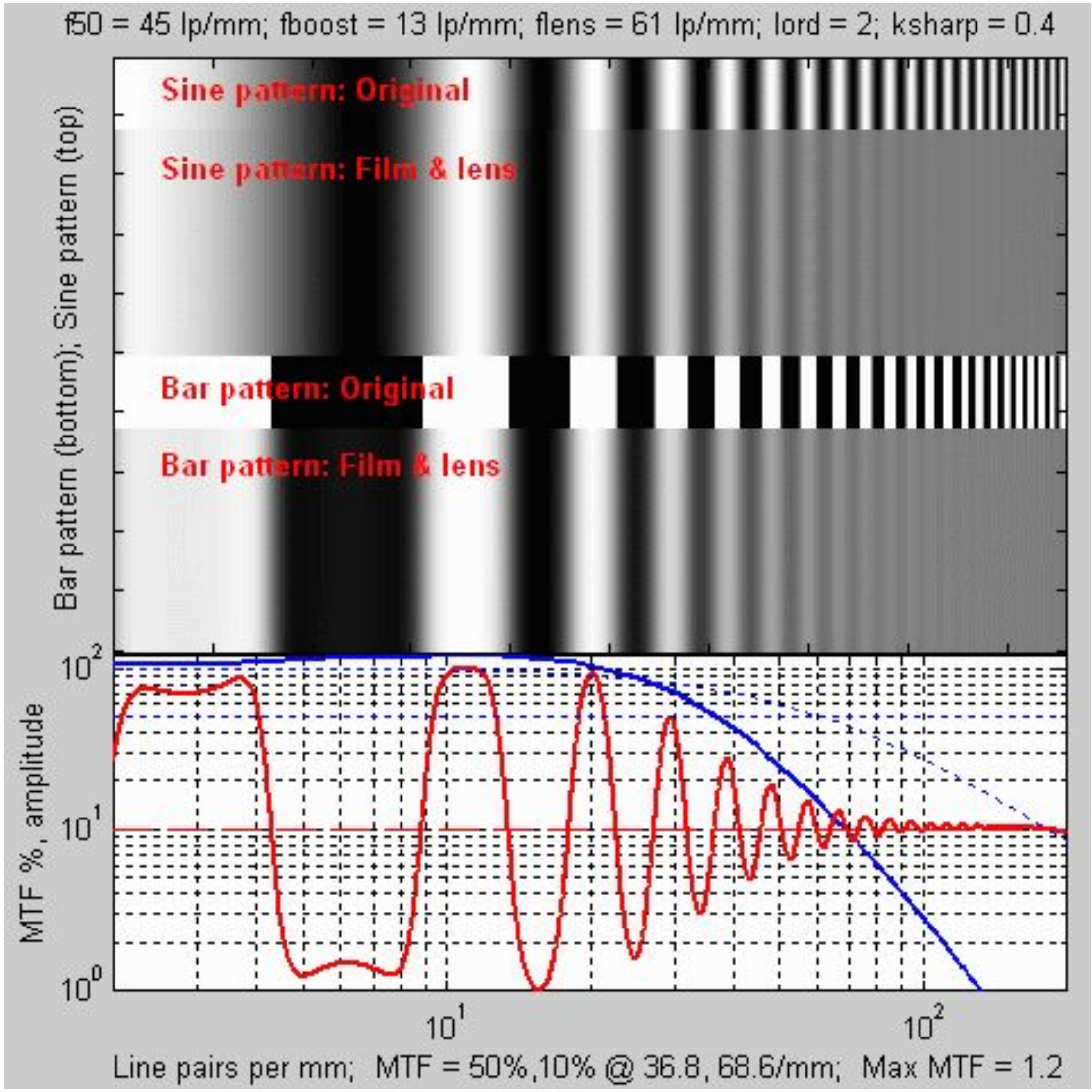
$$g(x,y) = 4B_X B_Y XY \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{m=-\infty}^{\infty} g(nX, mY) \sin c\left[2B_X(x - nX)\right] \sin c\left[2B_Y(y - mY)\right]$$

Для случая максимально допустимых интервалов выборки получится:

$$g(x,y) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{m=-\infty}^{\infty} g(\frac{n}{2B_X}, \frac{m}{2B_Y}) \sin c\left[2B_X(x - \frac{n}{2B_X})\right] \sin c\left[2B_Y(y - \frac{m}{2B_Y})\right]$$

Это выражение называют теоремой выборки Шеннона-Уитеккера.

Модуляционная передаточная функция оптической системы

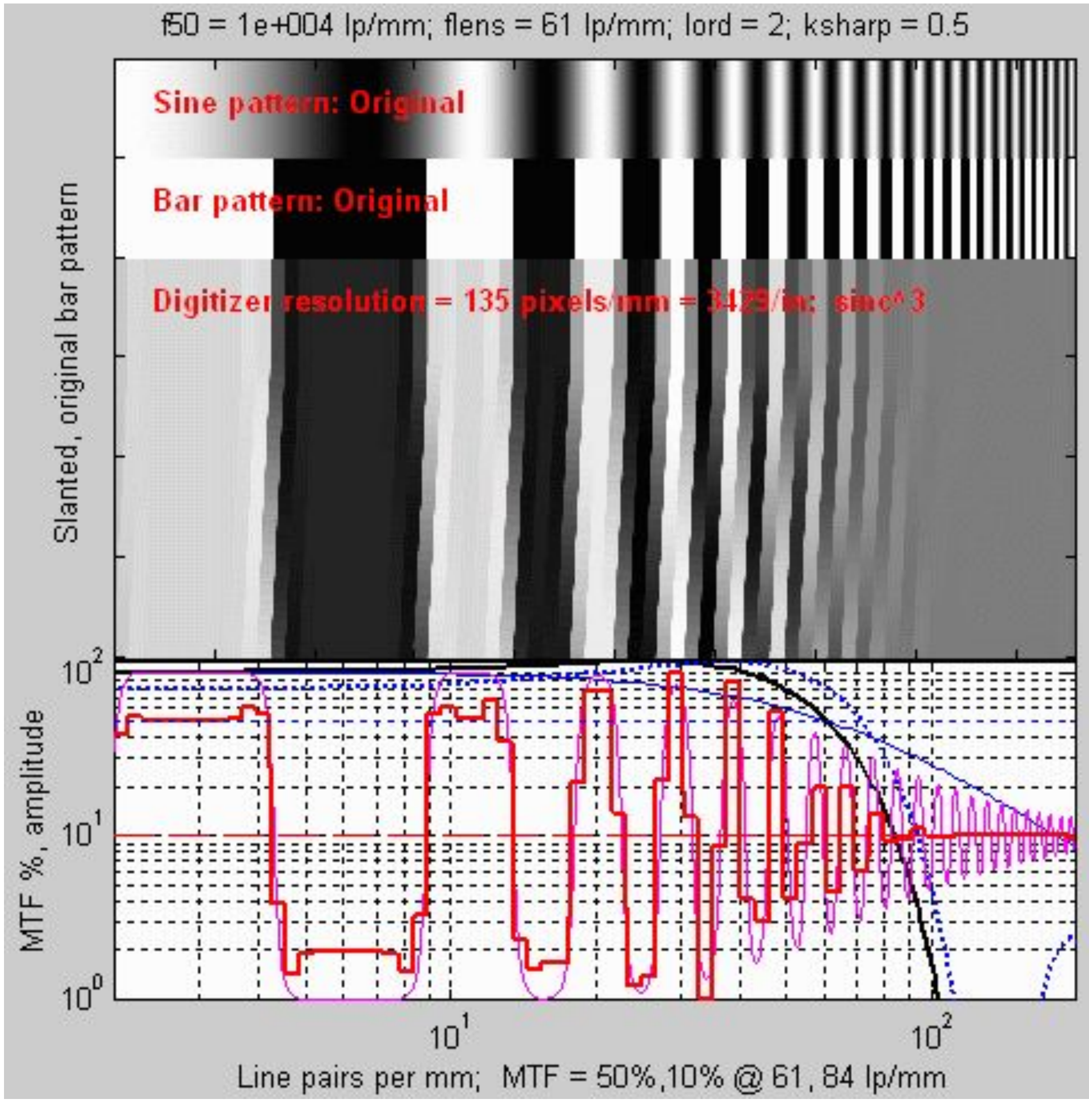


*http://www.normankoren.com/Tutorials/MTF.html

Синусоидальная и бинарная решетки переменного периода до и после регистрации с объективом Canon 28-70mm f/2.8L

Профиль изображения решетки (красный) и модуляционная передаточная функция (МПФ) объектива (синий)*

Модуляционная передаточная функция оптической системы



*http://www.normankoren.com/Tutorials/MTF7.html#Pillars

Бинарная решетка переменного периода до и после регистрации камерой
Canon EOS 10D

Профиль изображения решетки (красный), МПФ камеры (черный), МПФ фотосенсора (синий, точками), МПФ объектива (синий, сплошной)*

Спасибо за внимание!