

Обработка изображений

Цифровые кафедры, 2024

Куратор

- Светлана Носова
- более 12 лет исследований и преподавания в области обработки изображений, компьютерного зрения, искусственного интеллекта
- программист - исследователь, преподаватель (ННГУ, МФТИ, Intel, Huawei)
- nosova.sv.al@gmail.com
- Telegram Group: <https://t.me/+T7VbUvEkq8xhNWQy>

Обработка изображений. Курс

- 36 часов
- 9 занятий, начиная с 11.01.2024 - 07.03.2024
- четверг, 18:00 - 21:00
- платформа: Вебинар
- Формат занятий:
 - лекция
 - мастер-класс
 - самостоятельная практика

Обработка изображений. Обзор основных тем

1. Изображение. Точечные операции. Гистограмма. Бинаризация.
2. Фильтрация изображений. Свертка. Шумоподавление.
3. Детектирование границ.
4. Сегментация.
5. Преобразование Фурье. Трансформационные преобразования.
6. Статистические и структурные характеристики объектов на изображении. GLCM.
7. Классификация и сегментация на основе методов машинного обучения.
8. Сверточные нейронные сети.
9. Задачи классификации, детектирования, сегментации с помощью сверточных нейронных сетей.

Обработка изображений. Практика

- python
- opencv (cv2), torch
- numpy, matplotlib
- Jupyter Notebook, Google Colab

Обработка изображений и компьютерное зрение

- Обработка изображений - раздел, дисциплина, набор задач и методов их решения:
 - Исходные данные: изображение
 - Результирующие данные: изображение
- Компьютерное зрение:
 - Исходные данные: изображение, набор изображений
 - Результирующие данные: модель данных
- Анализ данных:
 - Исходные данные: изображение, набор изображений
 - Результирующие данные: статистическая информация об объектах на изображении

Обработка изображений

	Обработка изображений	Компьютерное зрение	Глубокое обучение
Характеристики	Эксперт	Эксперт	Алгоритм
Метод обработки	Эксперт	Алгоритм	Алгоритм

Обработка изображений. Фильтры

- 1 изображение:
 - точечные.
 - локальные.
 - глобальные.
- 2 и более изображений
 - машинное обучение
 - глубокое обучение

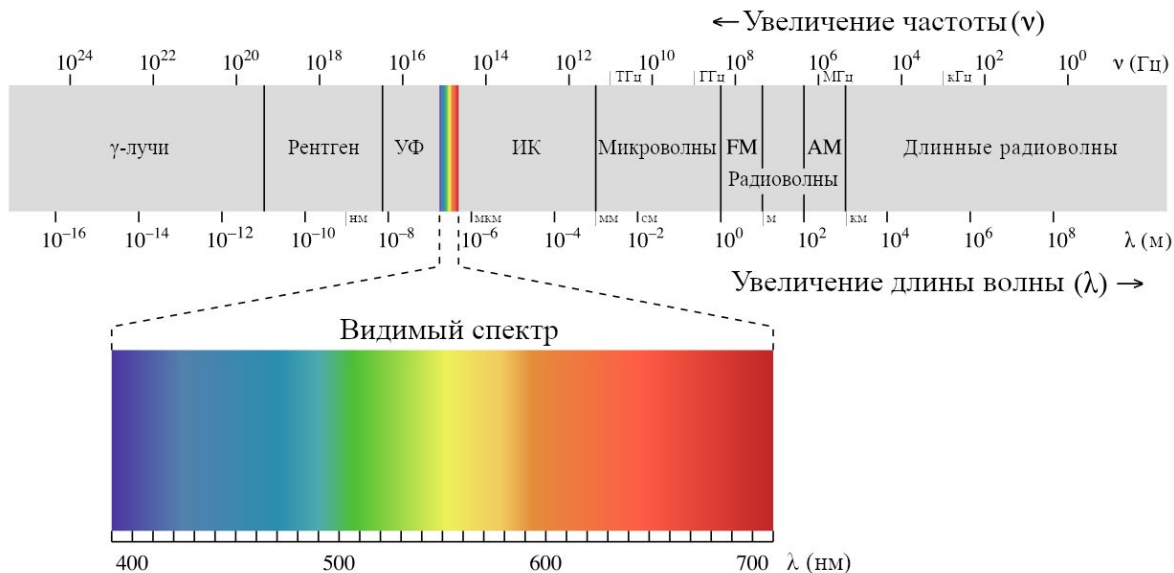
По типу операций:

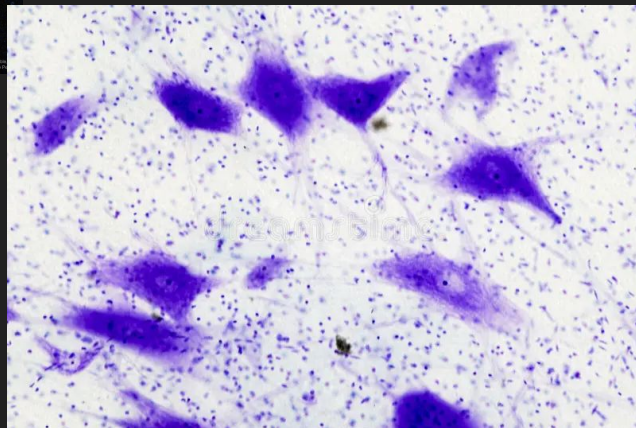
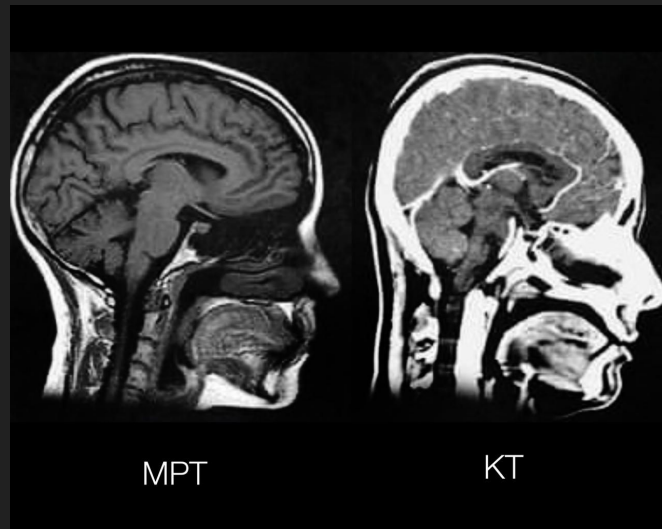
- линейные (сверточные)
- нелинейные (пр. на основе порядка)

Формирование изображений

Электромагнитные волны

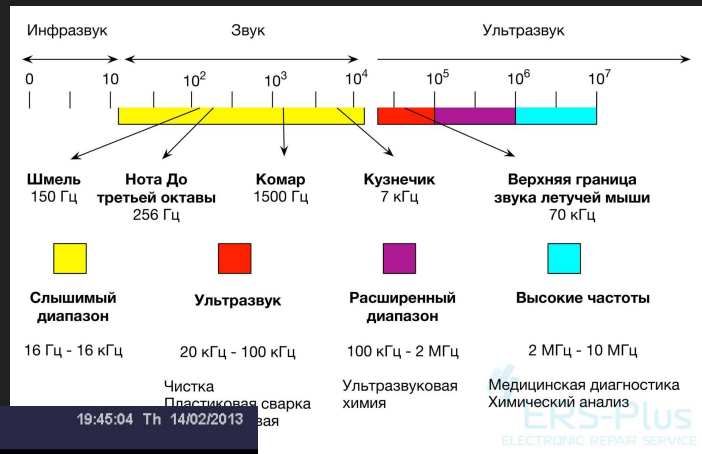
- задача захвата изображения:
зафиксировать описание
волны (энергетического
состояния) в каждой точке
рассматриваемого
пространства
- фиксация отраженного света:
глаз человека, фотокамеры
- излучатель + отражатель:
радиолокационные аппараты





Акустические волны

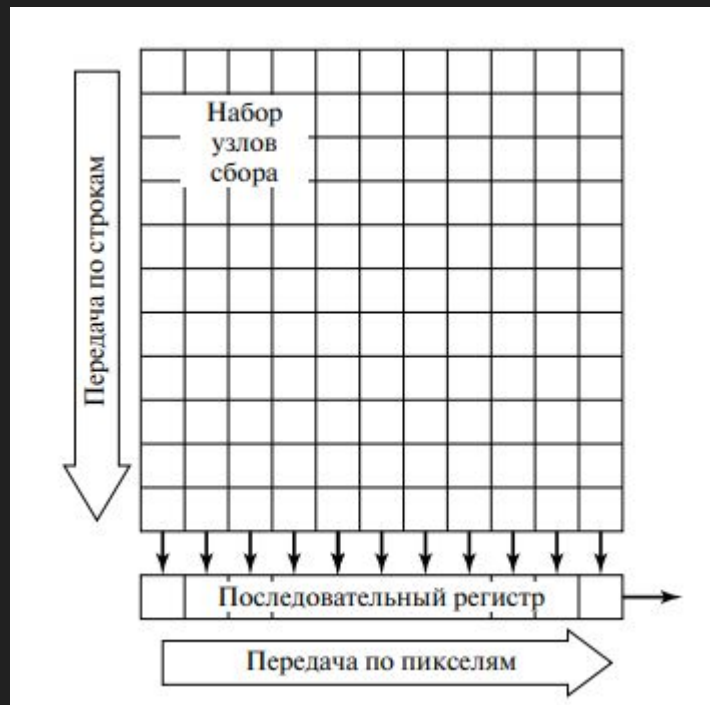
- УЗИ
- акустические радары



Изображение

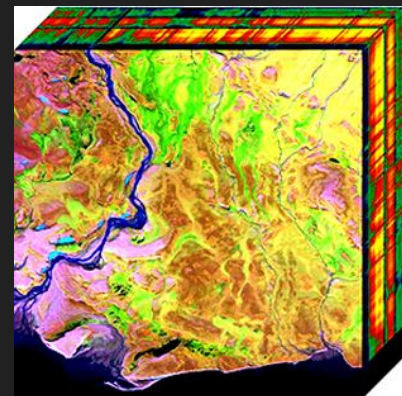
- двумерная функция $f(x,y)$
- значение - скаляр или вектор
- получение: прибор с зарядовой связью
- В ПЗС-датчике используется прямоугольная решетка из узлов, где собираются электроны, покрытая тонкой кремниевой пластинкой, для регистрации количества световой энергии, попадающей на каждый из них.
- Электроны, появляющиеся на каждом узле под действием удара фотона, собираются за фиксированный период времени T .
- Этап квантования: “количество” электронов преобразуется в конкретное значение интенсивности.
- Выбор модели кодирования, сохранение.

Что ударяется? то, что можно зафиксировать.



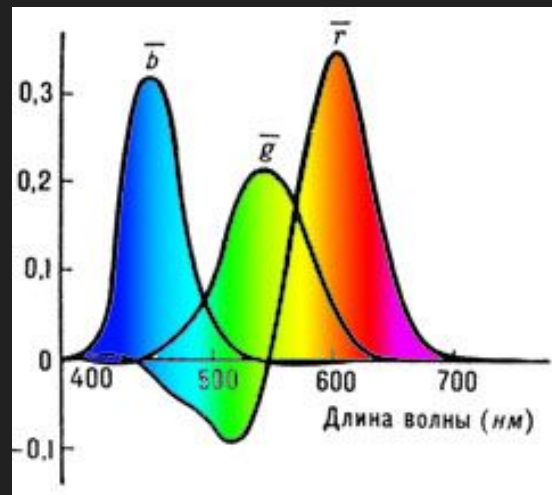
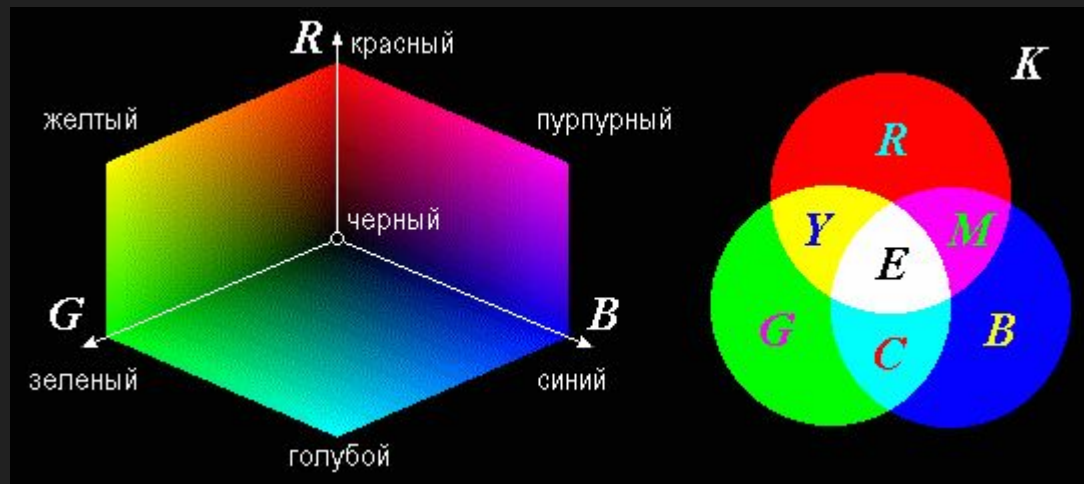
Типы изображений по цветности

- бинарные
 - два цвета: черный и белый
- монохромные (одноканальные, одноцветные)
 - 0..255 (8 бит, 1 байт / пиксель)
 - 0..1 (float, double)
 - ! индексные, раскраска по палитре
- цветные (3 канала)
 - RGB, YIQ, HSB
- многоканальные, цветные + доп информация (глубина инфракрасной камеры и т.п.), гиперспектральные



Пример: модель RGB

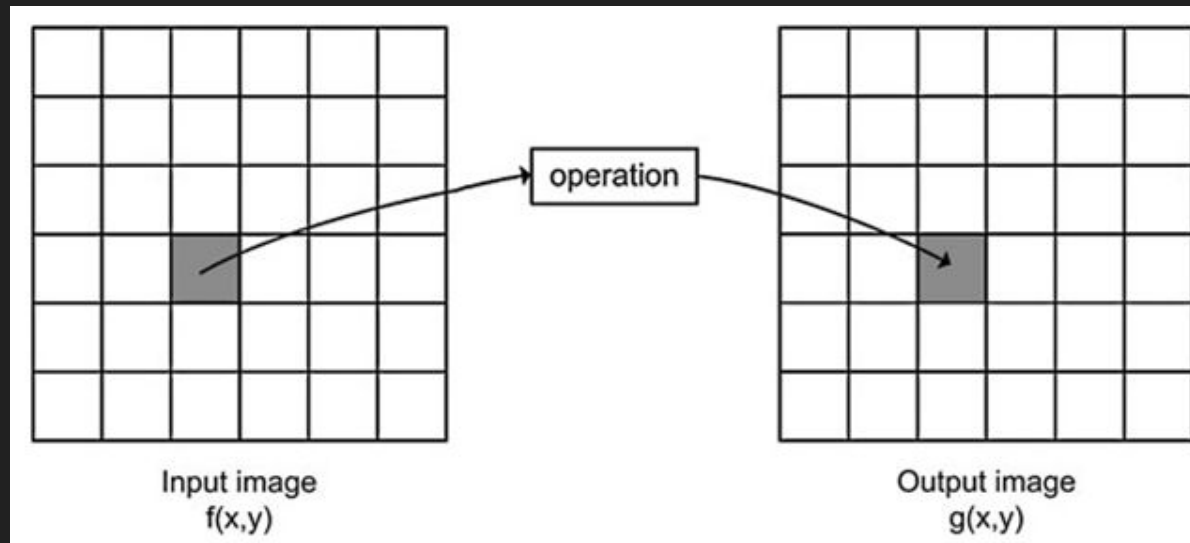
- (R, G, B)
 - красный
 - зеленый
 - синий
- аддитивная цветовая модель
- белый (255,255,255)
- черный (0,0,0)



Точечные операции

Точечные операции

- для вычисления каждого нового значения пикселя требуется информация только о предыдущем значении пикселя, без учета дополнительной статистики (локальной, глобальной, дополнительного изображения, палитры)



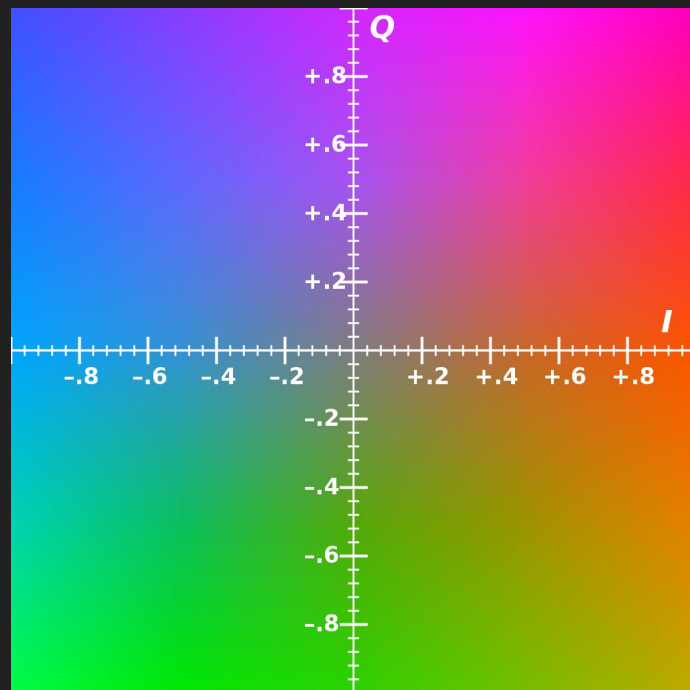
Точечные операции: RGB-YIQ

- Y - интенсивность, яркость
- I - цветовая компонента (оранжево-синий)
- Q - цветовая компонента (пурпурно-зеленый)

применение: телевидение

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0.956 & 0.619 \\ 1 & -0.272 & -0.647 \\ 1 & -1.106 & 1.703 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix}$$

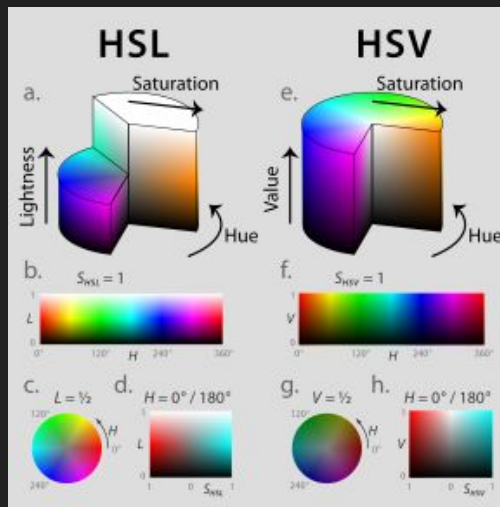
$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.275 & -0.321 \\ 0.212 & -0.523 & 0.311 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$



Точечные операции: RGB-HSL

- H - цветовой тон
- S - насыщенность
- L - яркость

применение: обработка
изображений прикладными
специалистами, дизайнерами,
художниками



RGB to HSV/HSI/HSL conversion

$$R' = R/255; G' = G/255; B' = B/255$$

$$C_{max} = \max(R', G', B'); C_{min} = \min(R', G', B'); \Delta = C_{max} - C_{min};$$

$$H = \begin{cases} 0, & \Delta = 0 \\ 60 \left(\frac{G' - B'}{\Delta} \bmod 6 \right), & C_{max} = R' \\ 60 \left(\frac{B' - R'}{\Delta} + 2 \right), & C_{max} = G' \\ 60 \left(\frac{R' - G'}{\Delta} + 4 \right), & C_{max} = B' \end{cases}$$

$$V = C_{max}; I = (R' + G' + B')/3; L = (C_{max} + C_{min})/2;$$

$$\text{For HSV } S = \begin{cases} 0, & C_{max} = 0 \\ \frac{\Delta}{C_{max}}, & C_{max} \neq 0 \end{cases}$$

$$\text{For HSI } S = \begin{cases} 0, & I = 0 \\ 1 - \frac{C_{min}}{I}, & I \neq 0 \end{cases}$$

$$\text{For HSL } S = \begin{cases} 0, & \Delta = 0 \\ \frac{\Delta}{1 - |2L - 1|}, & \Delta \neq 0 \end{cases}$$

HSV/HSI/HSL to RGB conversion.

$$\text{For HSV } C = V \times S;$$

$$\text{For HSL } C = (1 - |2L - 1|) \times S$$

$$X = C(1 - ((H/60^\circ) \bmod 2 - 1));$$

$$(R', G', B') = \begin{cases} (C, X, 0), & 0^\circ \leq H \leq 60^\circ \\ (X, C, 0), & 60^\circ \leq H \leq 120^\circ \\ (0, C, X), & 120^\circ \leq H \leq 180^\circ \\ (0, X, C), & 180^\circ \leq H \leq 240^\circ \\ (X, 0, C), & 240^\circ \leq H \leq 300^\circ \\ (C, 0, X), & 300^\circ \leq H \leq 360^\circ \end{cases}$$

$$\text{For HSV } m = V - C;$$

$$\text{For HSL } m = L - C/2;$$

$$(R, G, B) = (R' + m, G' + m, B' + m).$$

For HIS

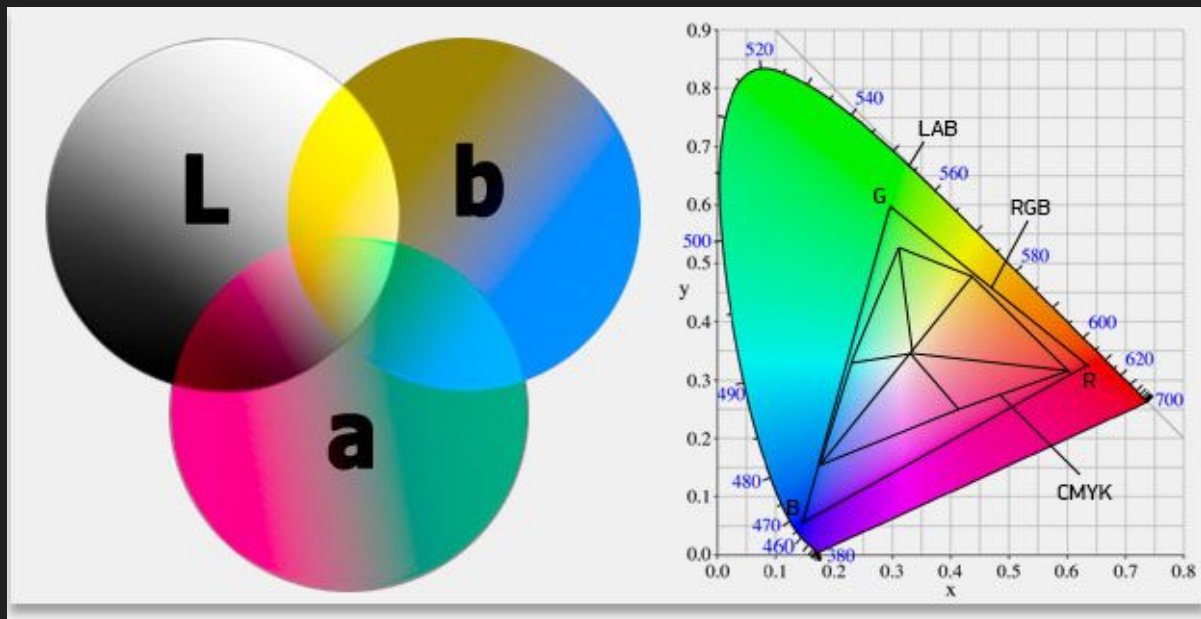
$$\text{If } 0^\circ \leq H \leq 120^\circ: B = I(1 - S); R = I \left[1 + \frac{\cos(H)}{\cos(60^\circ - H)} \right]; G = 3I - B - R.$$

$$\text{If } 120^\circ \leq H \leq 240^\circ: R = I(1 - S); G = I \left[1 + \frac{\cos(H - 120^\circ)}{\cos(180^\circ - H)} \right]; B = 3I - R - G.$$

$$\text{If } 240^\circ \leq H \leq 360^\circ: G = I(1 - S); B = I \left[1 + \frac{\cos(H - 240^\circ)}{\cos(300^\circ - H)} \right]; R = 3I - R - G.$$

RGB-> Lab

- сохранение линейности по цвету с учетом цветовосприятия глазом человека
- существует промежуточная модель, XYZ



Конвертирование в оттенки серого

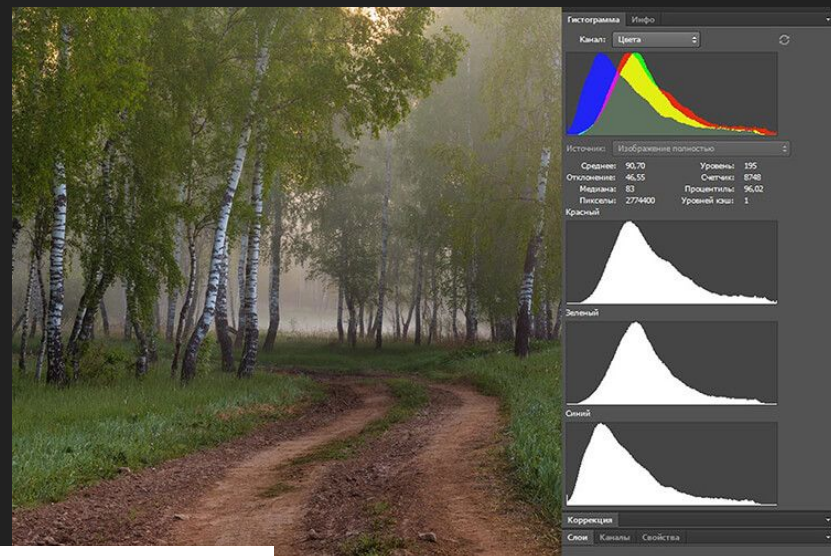
- (R, G, B) -> I
- 0.. 255
- 0..1

Method	Average Method	Weighted average	Luminosity method	Lightness method
Formula	$(R + G + B) / 3$	$Y = 0.299 * R + 0.587 * G + 0.114 * B$	$Z = 0.2126 * R + 0.7152 * G + 0.0722 * B$	$(\max(R, G, B) + \min(R, G, B)) / 2$
Recommended by			TU-R Recommendation BT. 709.	
OpenCV	- Nil -	CV_RGB2GRAY	- nil -	CV_RGB2HLS
Purpose	Simple calculation by taking average	Adjusted according to human perception	Default for GIMP to do grayscaling	Reduce contrast

Гистограмма изображения

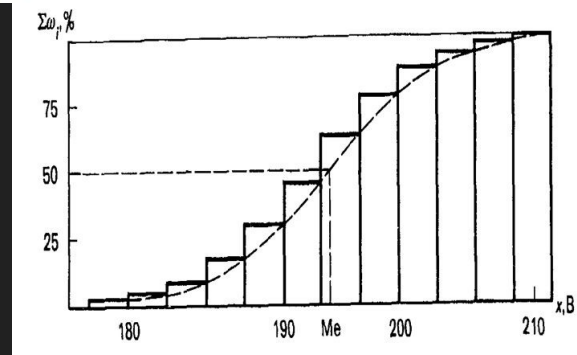
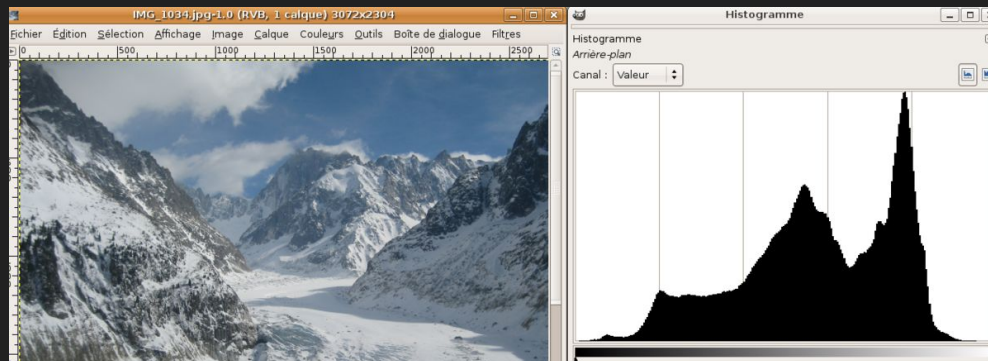
Гистограмма

- функция статистического распределения цветовых интенсивностей для изображения. (количество пикселей данного диапазона интенсивностей на изображении)
- абсолютная/относительная шкала



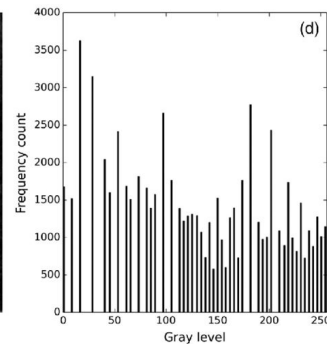
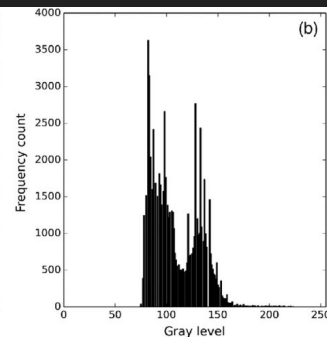
$$H'(i) = \sum_{0 \leq j < i} H(j)$$

Рис. *3.7. Кумулятивная кривая



Автоконтраст, линейное растяжение гистограммы

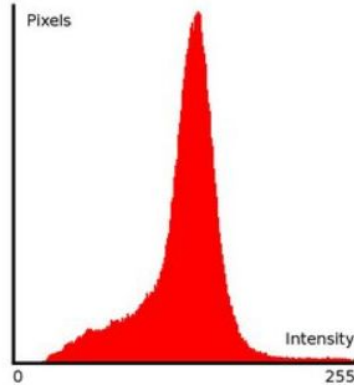
$$\text{Stretch } (I(r, c)) = \left[\frac{I(r, c) - I(r, c)_{\min}}{I(r, c)_{\max} - I(r, c)_{\min}} \right] [MAX - MIN] + MIN.$$



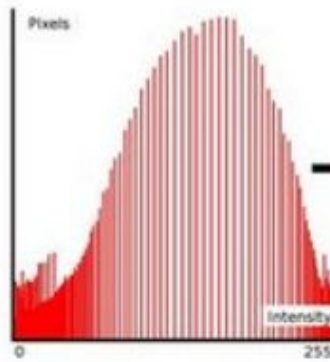
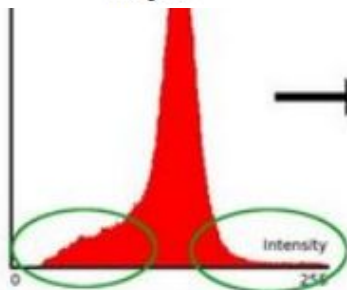
Эквализация гистограммы

- отображение исходного распределения цветов на другое распределение
- рассчитывается кумулятивная функция распределения
- нормирование, растяжение кумулятивной функции так, чтобы максимальное значение оказалось равным 255
- преобразование

$$equalized(x, y) = H'(src(x, y))$$

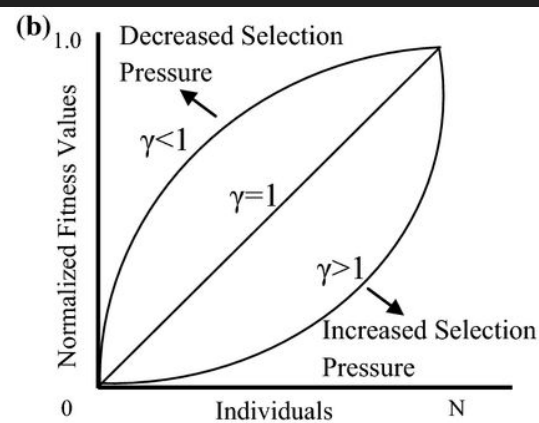
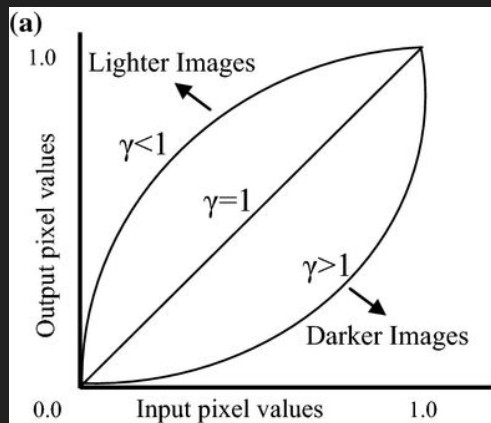


$$H'(i) = \sum_{0 \leq j < i} H(j)$$



Гамма коррекция

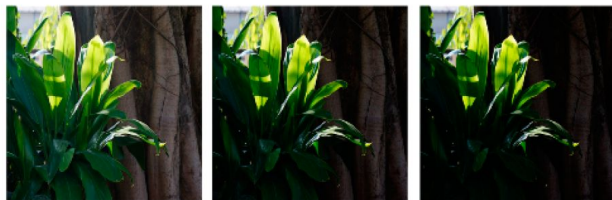
$$R_{\text{corrected}} = \left(\frac{R_{\text{uncorrected}}}{R_{\text{max}}} \right)^{\gamma} \times R_{\text{max}}$$



(a)

(b)

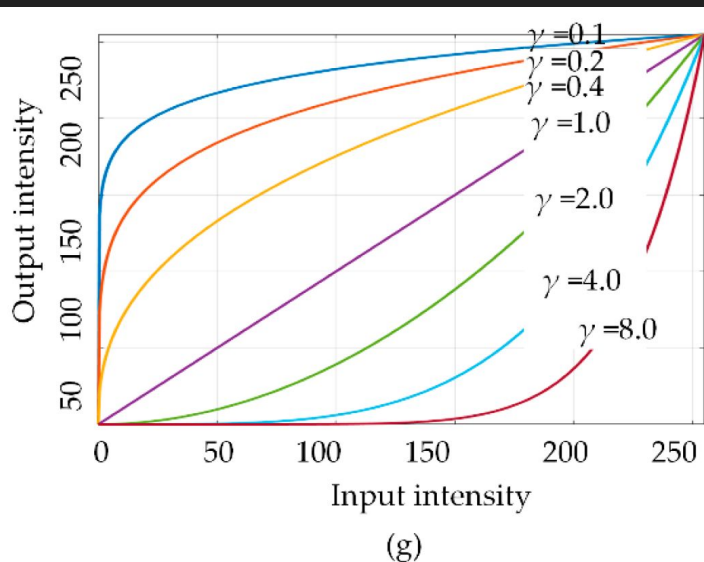
(c)



(d)

(e)

(f)



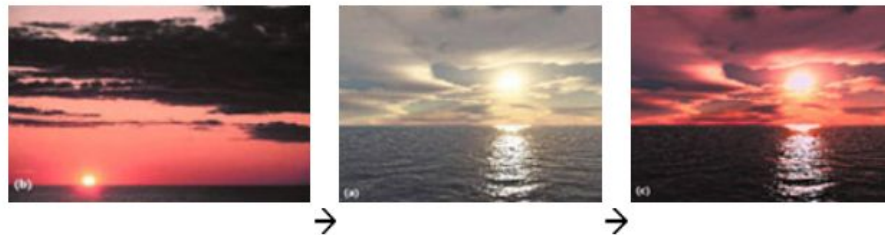
Статистическая цветокоррекция

- два изображения
- для каждого рассчитываются
мат ожидание и дисперсия

$$E_I = \frac{1}{n_I} \sum_{j=1}^{n_I} C_I^j,$$
$$D_I = \sqrt{\frac{1}{n_I} \sum_{j=1}^{n_I} (C_I^j - E_I)^2},$$
$$I \in \{s, t\}.$$

$$C_t^{new} = E_s + (C_t - E_t) \cdot \frac{D_s}{D_t},$$

Пример 1:



Пример 2:



Бинаризация

Простая пороговая бинаризация, фильтрация по порогу

Binary

$$\text{dst}(x, y) = \begin{cases} \text{maxval} & \text{if } \text{src}(x, y) > \text{thresh} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Inverted Binary

$$\text{dst}(x, y) = \begin{cases} 0 & \text{if } \text{src}(x, y) > \text{thresh} \\ \text{maxval} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Truncated

$$\text{dst}(x, y) = \begin{cases} \text{threshold} & \text{if } \text{src}(x, y) > \text{thresh} \\ \text{src}(x, y) & \text{otherwise} \end{cases}$$

To Zero

$$\text{dst}(x, y) = \begin{cases} \text{src}(x, y) & \text{if } \text{src}(x, y) > \text{thresh} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

To Zero Inverted

$$\text{dst}(x, y) = \begin{cases} 0 & \text{if } \text{src}(x, y) > \text{thresh} \\ \text{src}(x, y) & \text{otherwise} \end{cases}$$

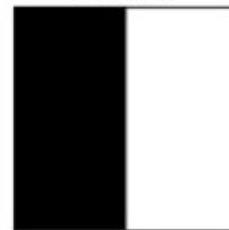
Original Image



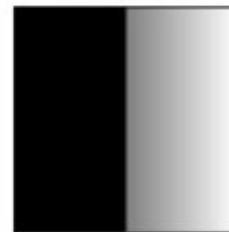
TRUNC



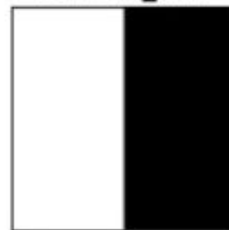
BINARY



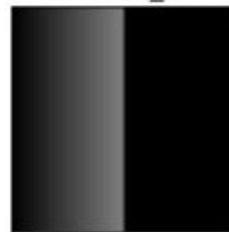
TOZERO



BINARY_INV



TOZERO_INV



image

Сравнение двух изображений

MSE, SSIM

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (f_i - y_i)^2$$

$$\mu_x = \sum_{i=1}^N w_i x_i$$

$$\sigma_x = \left(\sum_{i=1}^N w_i (x_i - \mu_x)^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

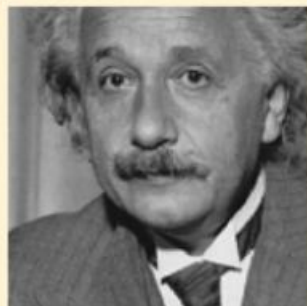
$$\sigma_{xy} = \sum_{i=1}^N w_i (x_i - \mu_x)(y_i - \mu_y).$$

$$SSIM(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = l(\mathbf{x}, \mathbf{y})^\alpha \cdot c(\mathbf{x}, \mathbf{y})^\beta \cdot s(\mathbf{x}, \mathbf{y})^\gamma,$$

$$l(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \frac{2\mu_x\mu_y + C_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1}$$

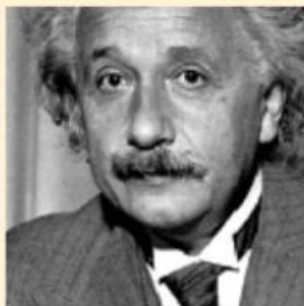
$$c(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \frac{2\sigma_x\sigma_y + C_2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2}$$

$$s(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \frac{\langle \zeta_x, \zeta_y \rangle + C_3}{\sigma_x\sigma_y + C_3} = \frac{\sigma_{xy} + C_3}{\sigma_x\sigma_y + C_3}$$



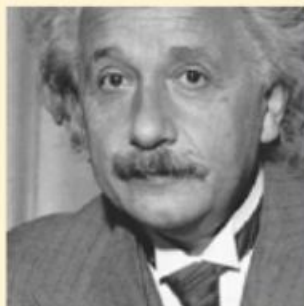
MSE=0, SSIM=1

(a)



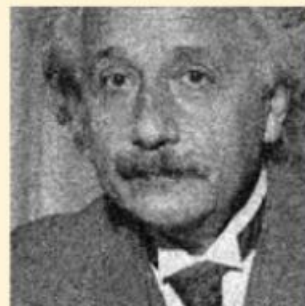
MSE=306, SSIM=0.928

(b)



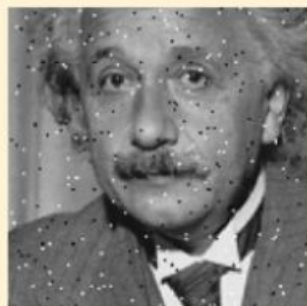
MSE=309, SSIM=0.987

(c)



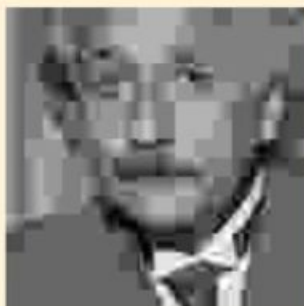
MSE=309, SSIM=0.576

(d)



MSE=313, SSIM=0.730

(e)



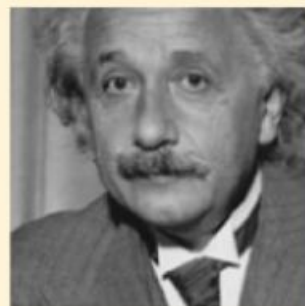
MSE=309, SSIM=0.580

(f)



MSE=308, SSIM=0.641

(g)



MSE=694, SSIM=0.505

(h)

5: Comparison of SSIM and MSE performances for "Einstein image altered with different types of distortions. (a) Reference image. (b) Mean contrast stretch. (c) Luminance shift. (d) Gaussian noise. (e) Impulsive noise. (f) JPEG compression. (g) Blurring. (h) Spatial scaling. (Image courtesy of Wang and Bovik's paper [7])