

ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ: БАЗОВАЯ ТЕОРИЯ

Мария Шеянова (masha.shejanova@gmail.com),
Вячеслав Мурашкин

Автор большей части материалов



ВЯЧЕСЛАВ МУРАШКИН

Разработчик-исследователь в «Яндексе»

mvjacheslav@gmail.com

План занятия

- примеры применения Computer Vision
- цифровое представление изображений и пространство цветов
- посмотрим на изображения в питоне
- виды сжатия изображений
- свёртки и фильтры
- (если хватит времени) свёртки и фильтры с помощью питона

Рекомендуемые материалы

- [книжка](#)
- [стэнфордский курс](#)
- [подробный видеокурс](#)
- [канал в ютубе про нейросетки](#)

Примеры задач CV

Фильтры для обработки изображений

noisy lena



Gaussian filter



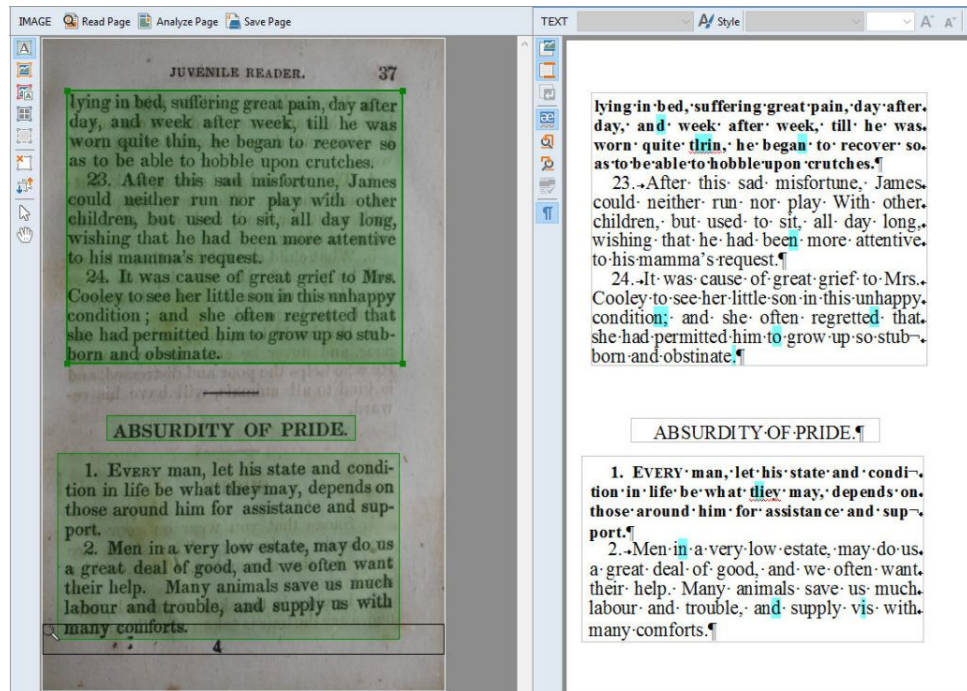
Удаление шума на изображении



Семантическая сегментация изображений



Распознавание символов



Цифровое представление изображений

растр vs. вектор

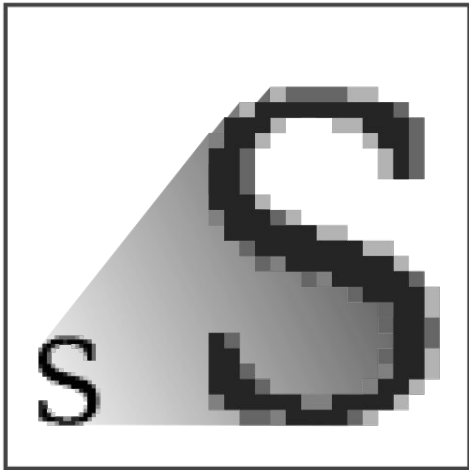
Растр

- описание изображения на уровне точек (пикселей);
- размер изображения ограничен числом пикселей.

Вектор

- описание изображения на уровне фигур и их свойств;
- размер изображения может быть произвольным.

растр vs. вектор



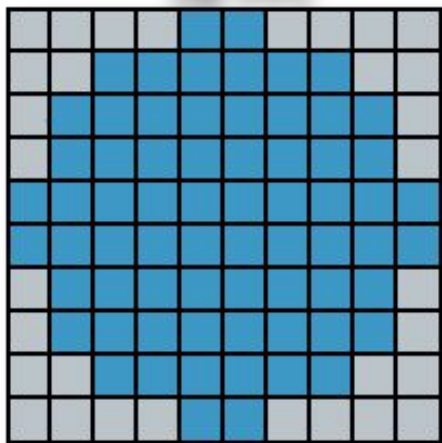
PACTP
.jpeg .gif .png



BEKTOP
.svg

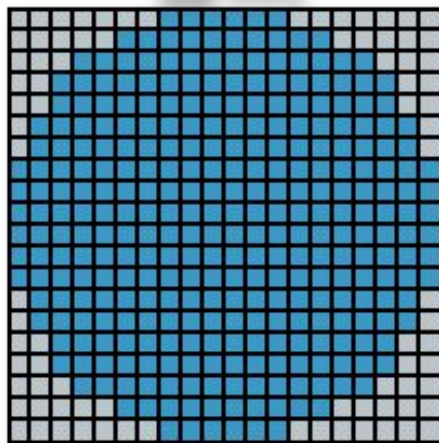
Разрешение

10 PPI



2,54 cm

20 PPI

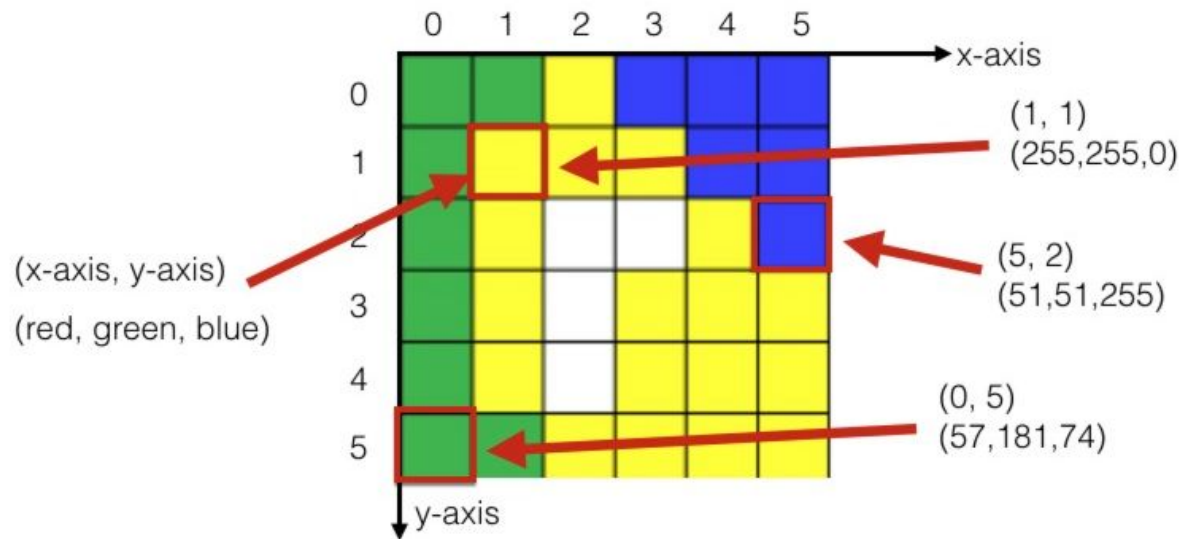


2,54 cm

Каналы и динамический диапазон

- каждый пиксель изображения кодируется одним или несколькими значениями (каналами)
- стандартный диапазон значений в каждом канале: от 0 до 255 (один байт или 8 бит)
- для представления черно-белого изображения достаточно одного канала (передача яркости пикселя)
- цветные изображения, как правило, содержат 3 канала

Растровое представление изображения



Пространства цветов

RGB

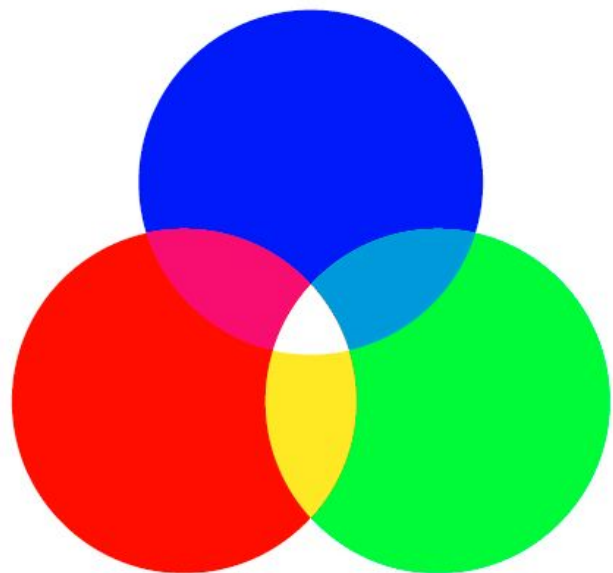
RGB - Red Green Blue

- наиболее распространенное представление цветного изображения
- выбор основных цветов обусловлен восприятием цвета сетчатки глаза
- 3 канала

Примеры цветов:

- белый: (255, 255, 255)
- чёрный: (0, 0, 0)
- жёлтый: (255, 255, 0)

RGB



RGB

I



R (Red)



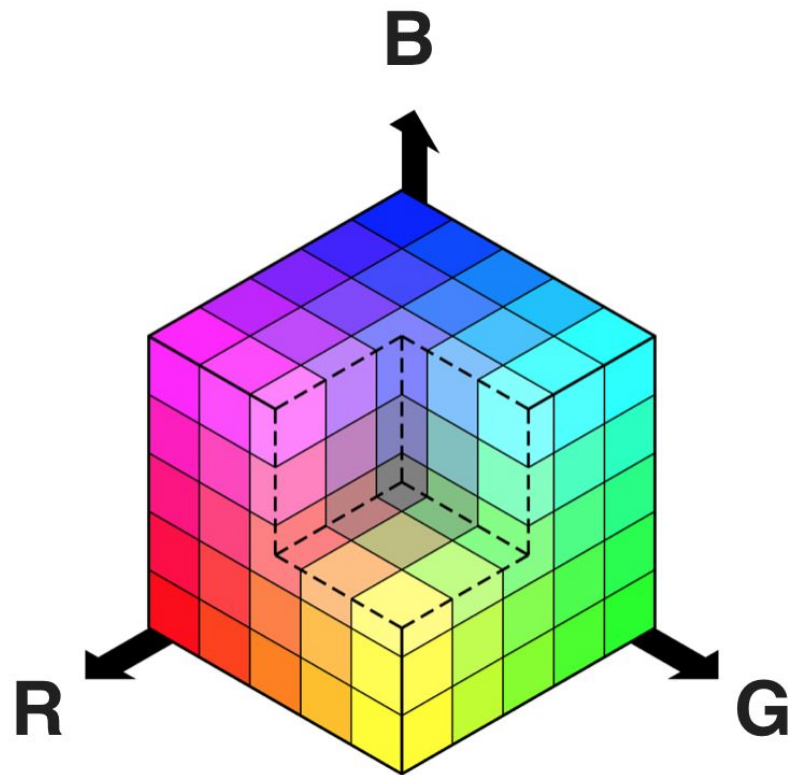
G (green)



B (blue)



RGB



CMYK

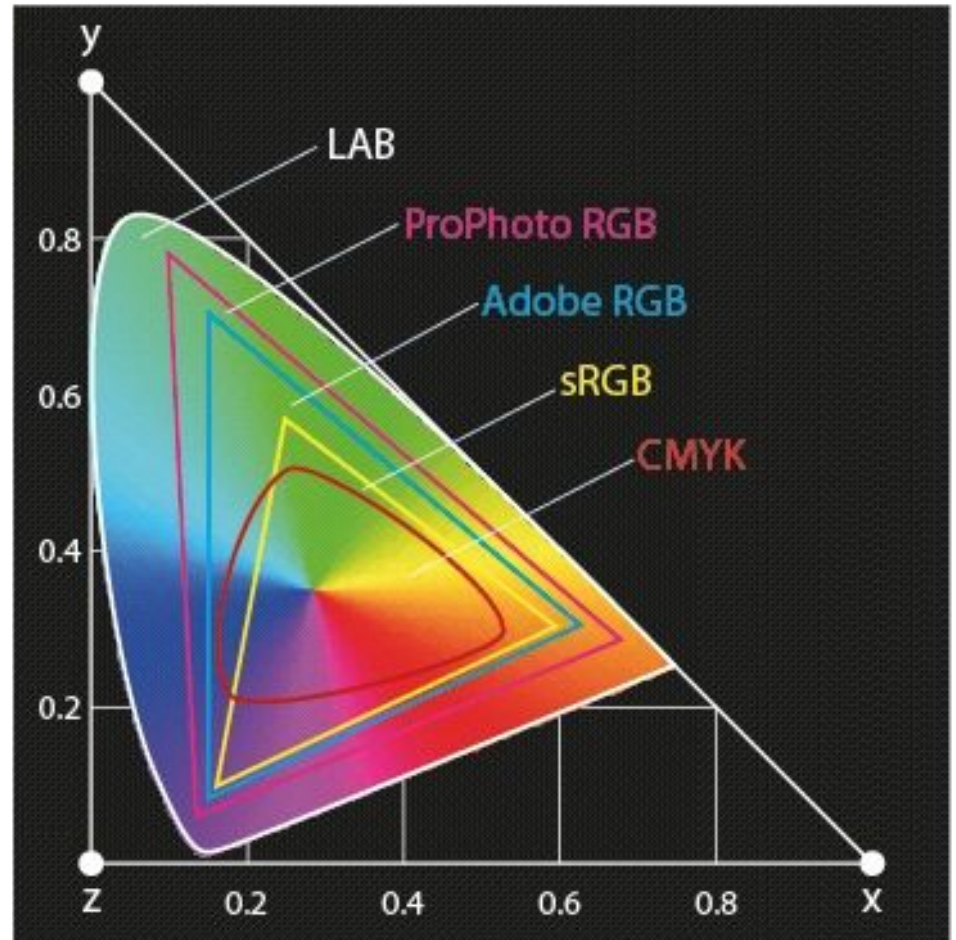
CMYK - Cyan Magenta Yellow Black

- 4 канала;
- в основном используется в полиграфии;
- цветовой охват меньше в сравнении с RGB.

CMYK VS RGB

sRGB - standard RGB

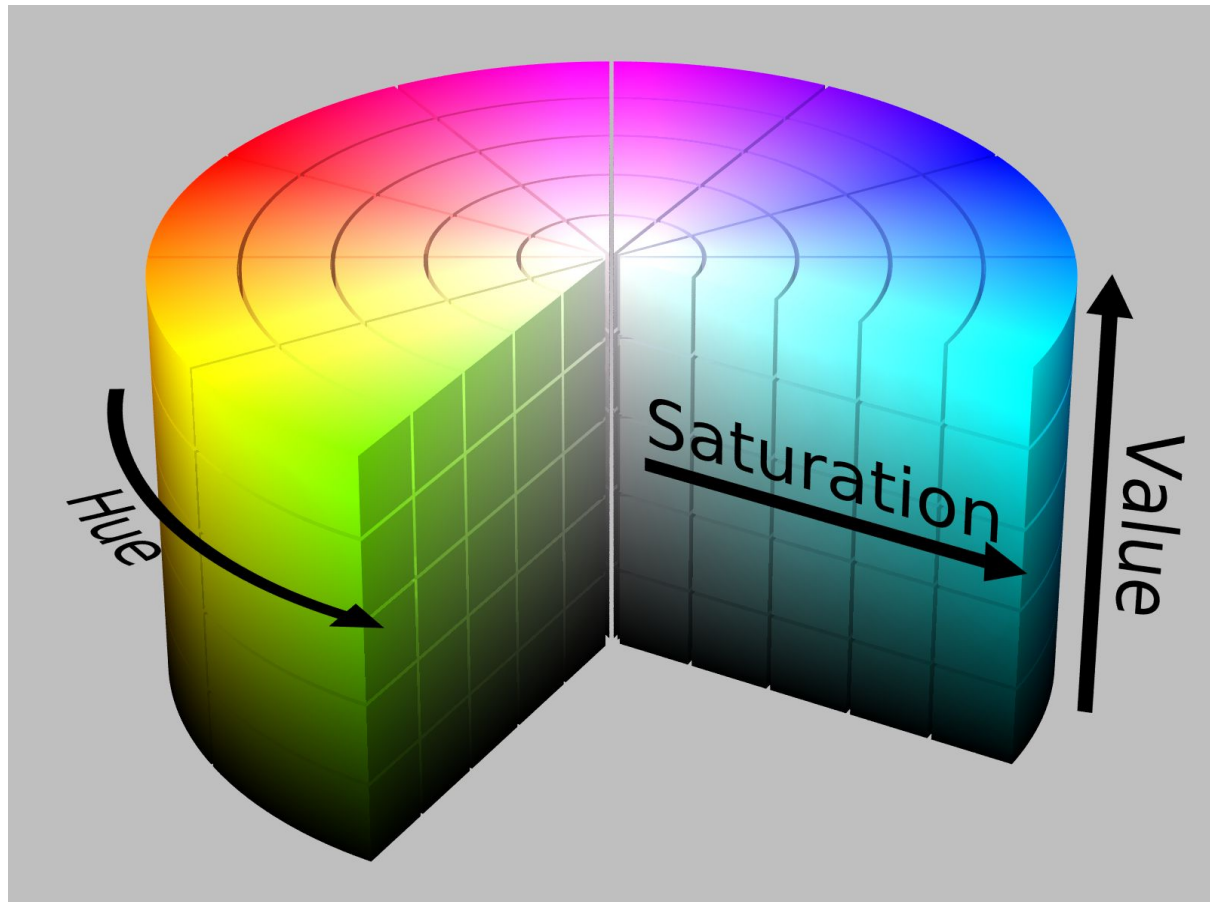
In Adobe RGB (1998), colors are specified as $[R,G,B]$ triplets, where each of the R, G, and B components have values ranging between 0 and 1.



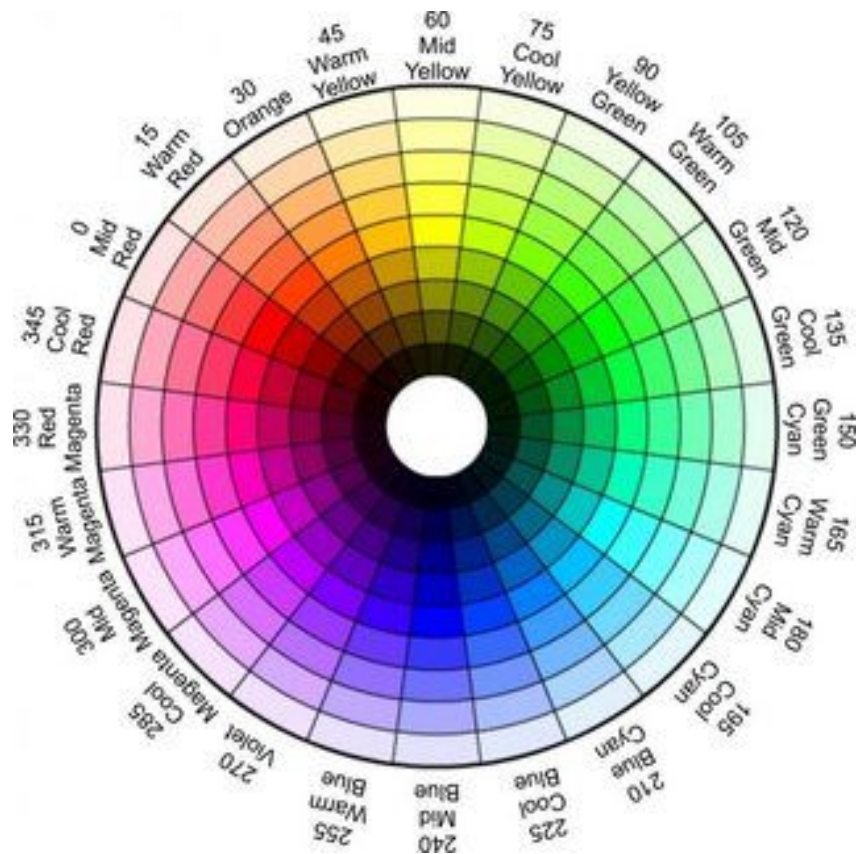
HSV

Hue Saturation Value

- Hue — цветовой тон
- Saturation - насыщенность цвета
- Value - интенсивность



HSV: цвет



Алгоритм перехода RGB → HSV

$$V \leftarrow \max(R, G, B)$$

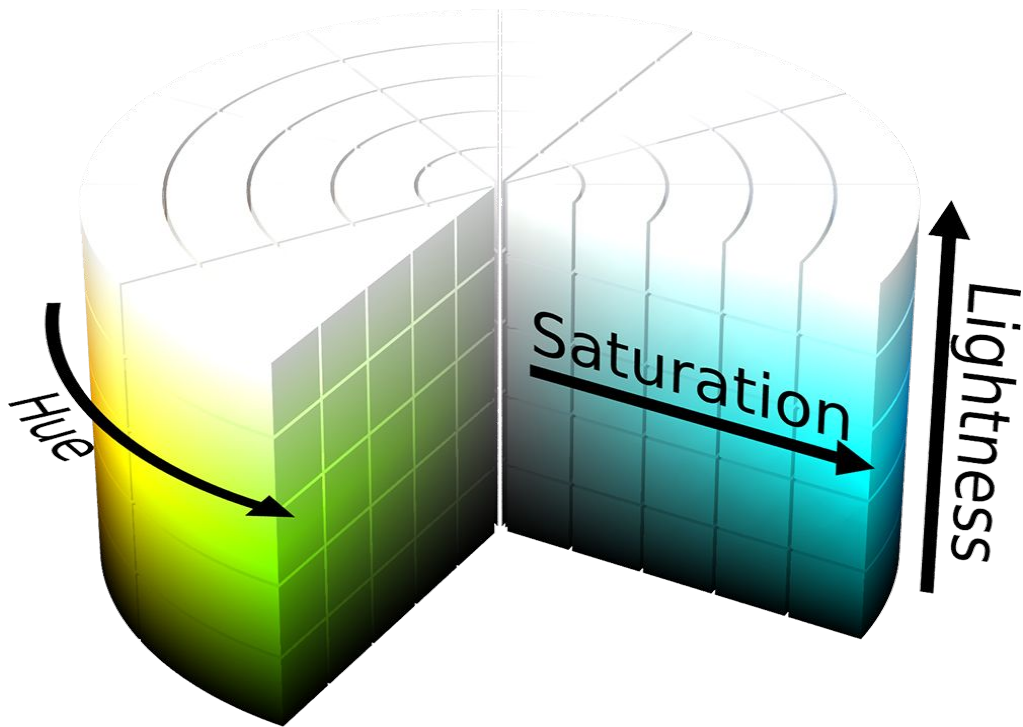
$$S \leftarrow \begin{cases} \frac{V - \min(R, G, B)}{V} & \text{if } V \neq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$H \leftarrow \begin{cases} 60(G - B)/(V - \min(R, G, B)) & \text{if } V = R \\ 120 + 60(B - R)/(V - \min(R, G, B)) & \text{if } V = G \\ 240 + 60(R - G)/(V - \min(R, G, B)) & \text{if } V = B \end{cases}$$

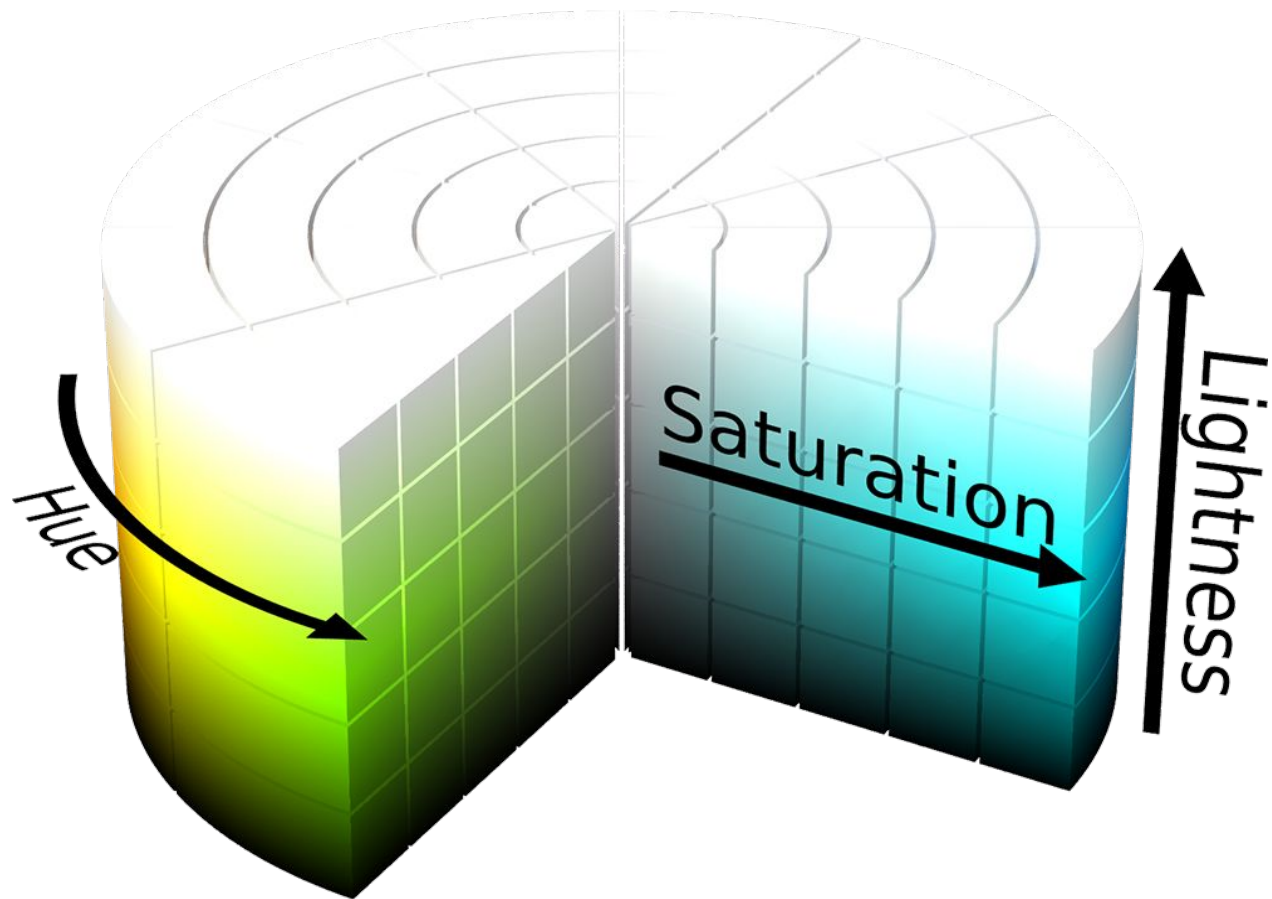
HSL

Hue Saturation Lightness

- Hue — цветовой тон
- Saturation — насыщенность цвета
- Lightness — яркость



HSL



Алгоритм
перехода
RGB → HLS

$$V_{max} \leftarrow \max(R, G, B)$$

$$V_{min} \leftarrow \min(R, G, B)$$

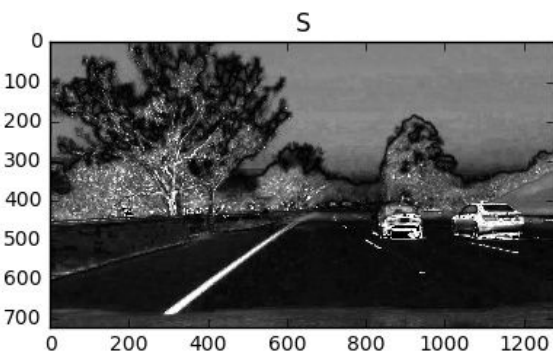
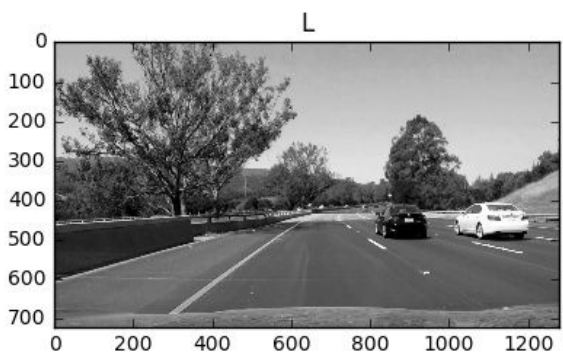
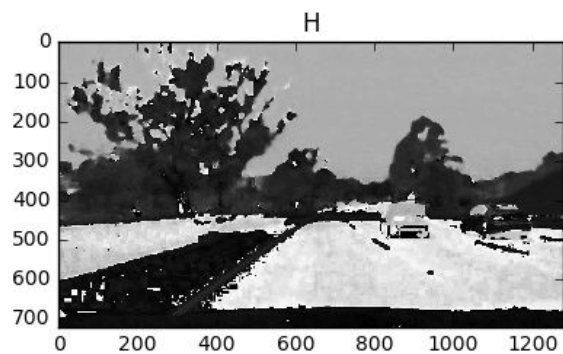
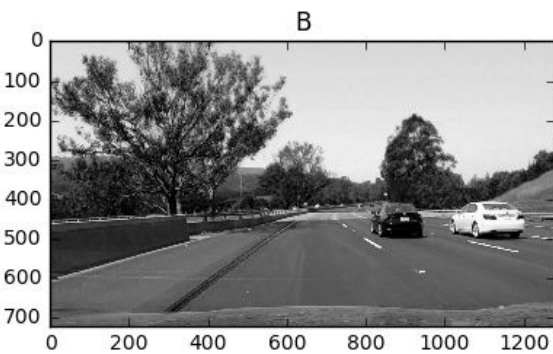
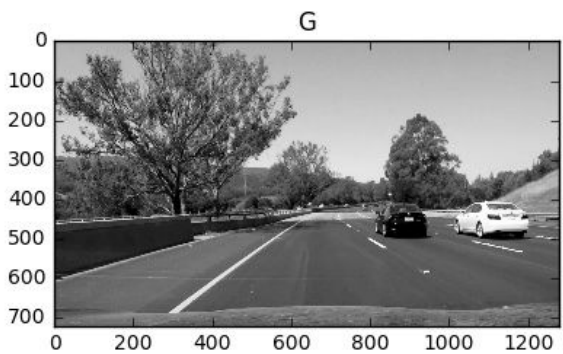
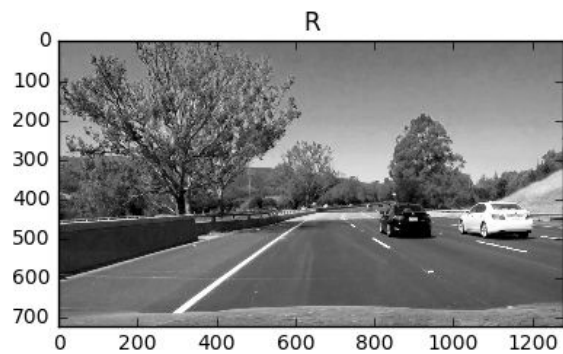
$$L \leftarrow \frac{V_{max} + V_{min}}{2}$$

$$S \leftarrow \begin{cases} \frac{V_{max} - V_{min}}{V_{max} + V_{min}} & \text{if } L < 0.5 \\ \frac{V_{max} - V_{min}}{2 - (V_{max} + V_{min})} & \text{if } L \geq 0.5 \end{cases}$$

$$H \leftarrow \begin{cases} 60(G - B)/(V_{max} - V_{min}) & \text{if } V_{max} = R \\ 120 + 60(B - R)/(V_{max} - V_{min}) & \text{if } V_{max} = G \\ 240 + 60(R - G)/(V_{max} - V_{min}) & \text{if } V_{max} = B \end{cases}$$

HSL VS RGB





Форматы сжатия

Сжатие изображений

- Матричное представление RGB требовательно к ресурсам памяти
- Каждый пиксель занимает $3 \times 8\text{bit} = 24\text{bit}$ памяти
- Изображение 1024×768 занимает 2,4 Mb памяти
- Представление изображения в виде матриц RGB, как правило, содержит избыточную информацию;
- Сжатие изображений осуществляется за счёт уменьшения объема избыточной информации
- Сжатие бывает с потерями (восстановленное после сжатия изображение может отличаться от исходного) и без потерь (гарантируется что восстановленное после сжатия изображение совпадает с исходным)

Форматы изображений: JPEG

JPEG (Joint Photographic Experts Group)

- сжатие с потерями — восстановленное изображение не является точной копией исходного;
- уровень сжатия является параметром алгоритма;
- ориентировочный коэффициент сжатия цветного изображения: 10:1 — 20:1;
- использует особенность восприятия изображения человеческим глазом, связанную с большей чувствительностью к изменению яркости пикселей и меньшей чувствительностью к небольшому изменению цвета.

Форматы изображений: PNG

PNG (Portable Network Graphic)

- сжатие без потерь;
- палитра цветов изображения хранятся в таблице;
- для каждого пикселя указывается индекс цвета из палитры;
- ориентировочный коэффициент сжатия цветного изображения: 2,5:1.

Свёртки

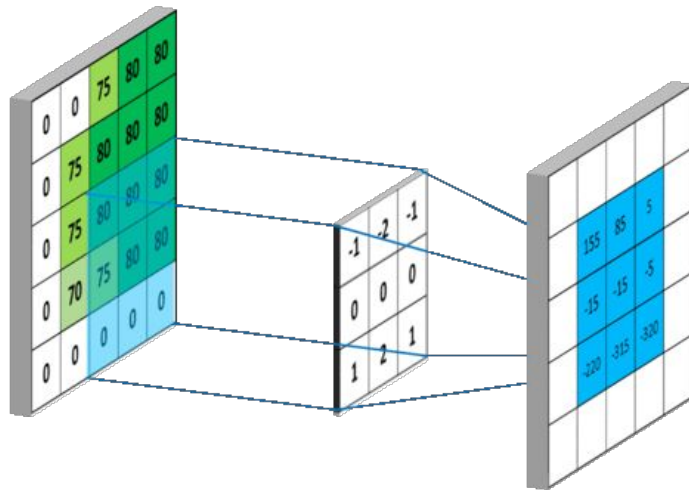
Что такое свёртка

Давайте пока представим, что мы работаем с чёрно-белыми изображениями (всего один канал).

Проходимся по всему изображению квадратной матрицей, поэлементно умножая яркость пикселей на её числа, а потом складываем результат.

[Ссылка на анимацию.](#)

[Видео-объяснение про свёртки.](#)



Свёртка: формула

$$G[i, j] = \sum_{u=-k}^k \sum_{v=-k}^k H[u, v] F[i - u, j - v]$$

- F — исходное изображение
- H - фильтр размера $k \times k$
- G - результат на выходе свертки
- i, j - координаты пиксела в области которого применяется операция свертки

Свёртка на цветных картинках

0	0	0	0	0	0	...
0	156	155	156	158	158	...
0	153	154	157	159	159	...
0	149	151	155	158	159	...
0	146	146	149	153	158	...
0	145	143	143	148	158	...
...

Input Channel #1 (Red)

0	0	0	0	0	0	...
0	167	166	167	169	169	...
0	164	165	168	170	170	...
0	160	162	166	169	170	...
0	156	156	159	163	168	...
0	155	153	153	158	168	...
...

Input Channel #2 (Green)

0	0	0	0	0	0	...
0	163	162	163	165	165	...
0	160	161	164	166	166	...
0	156	158	162	165	166	...
0	155	155	158	162	167	...
0	154	152	152	157	167	...
...

Input Channel #3 (Blue)

-1	-1	1
0	1	-1
0	1	1

Kernel Channel #1



310

+

1	0	0
1	-1	-1
1	0	-1

Kernel Channel #2



-170

+

0	1	1
0	1	0
1	-1	1

Kernel Channel #3



325

+ 1 = 466



Bias = 1

Output

-25	466			...
				...
				...
				...
...

Делаем всё
то же самое,
но со всеми
каналами, а
потом
складываем.

Анимация.

Фильтры

Фильтры: идея

Проходимся по всему изображению, и меняем значения его пикселей

- в зависимости их значения
- в зависимости от их соседних пикселей

Таким образом, можно, например:

- выделять вертикальные / горизонтальные границы
- размывать изображение / делать его более чётким
- сдвигать изображение

Пример фильтра: идентичное отображение



Original



0	0	0
0	1	0
0	0	0



Identical image

Пример фильтра: смещение



Original



0	0	0
1	0	0
0	0	0



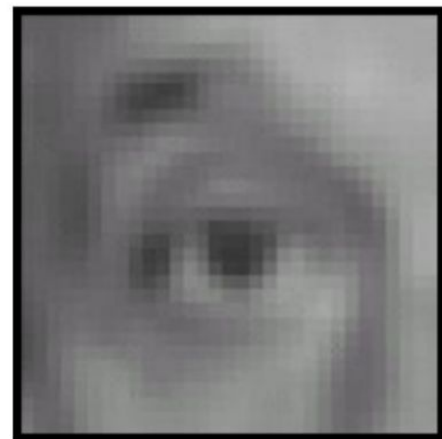
Shifted left
By 1 pixel

Пример фильтра: размытие



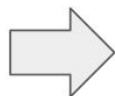
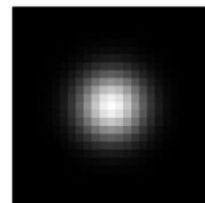
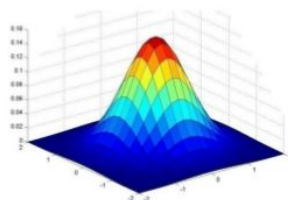
Original

$$* \frac{1}{9} \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1 & 1 & 1 \\ \hline 1 & 1 & 1 \\ \hline 1 & 1 & 1 \\ \hline \end{array} =$$



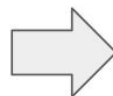
Blur (with a mean filter)

Размытие - фильтр Гаусса



$$\frac{1}{273}$$

1	4	7	4	1
4	16	26	16	4
7	26	41	26	7
4	16	26	16	4
1	4	7	4	1



Пример фильтра: выделение границ (sharpen)



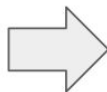
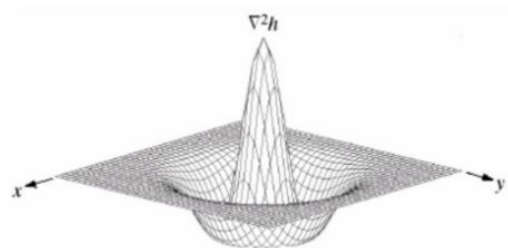
Original

$$* \left(\begin{array}{|c|c|c|} \hline 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 2 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 \\ \hline \end{array} - \frac{1}{9} \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1 & 1 & 1 \\ \hline 1 & 1 & 1 \\ \hline 1 & 1 & 1 \\ \hline \end{array} \right) =$$

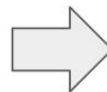


Sharpening filter
(accentuates edges)

Выделение границ - оператор Лапласа



-1	-1	-1
-1	8	-1
-1	-1	-1



Выделение границ - оператор Собеля

-1	0	+1
-2	0	+2
-1	0	+1

x filter

+1	+2	+1
0	0	0
-1	-2	-1

y filter

Выделение границ - оператор Собеля

Original



Sobel X



Sobel Y



Оператор Собеля - градиент

$$g = \sqrt{g_x^2 + g_y^2}$$

$$\theta = \arctan \frac{g_y}{g_x}$$

g, g_x, g_y - длина вектора градиента и его составляющих

θ - угол наклона градиента в полярной системе координат