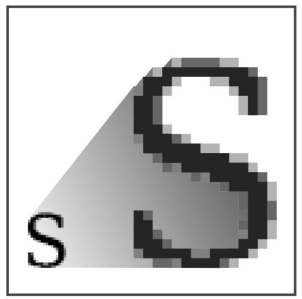
Цифровые изображения и их обработка

Что такое цифровое изображение?

- Изображение определяется как двумерная функция **F(x,y)**, где **x** и **y** - это пространственные координаты, а значение **F** является **яркостью** в данной паре координат. Когда **x**, **y**, и значения **F** являются дискретными и конечными, мы зовем такое изображение **цифровым изображением (digital image)**.

- Цифровое изображение бывает **растровым** и **векторным**.

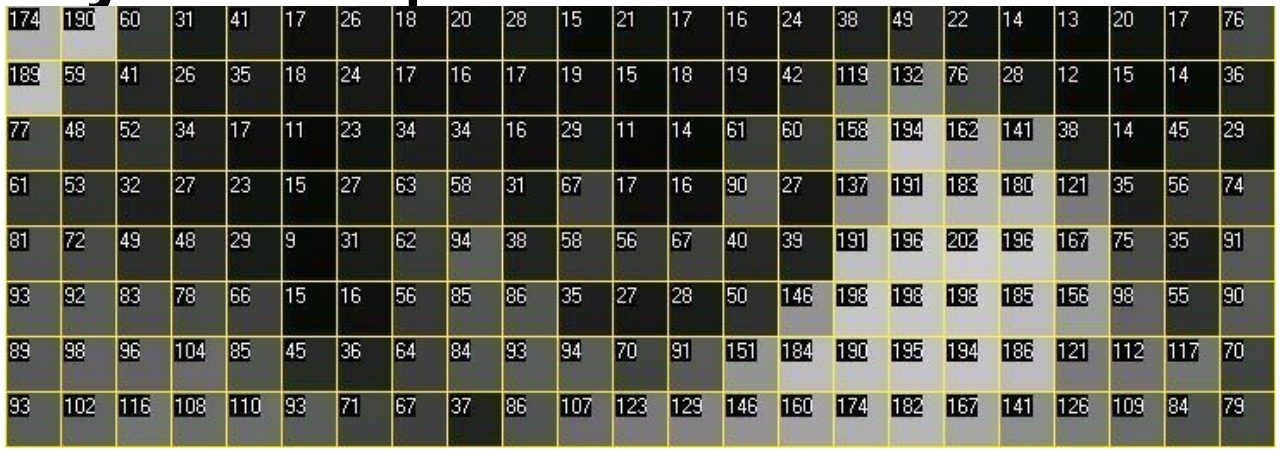


РАСТР
.jpeg .gif .png

ВЕКТОР
.svg

Цифровое растровое изображение

- **Цифровое растровое изображение** представляется как прямоугольный двумерный массив чисел, при этом каждое числовое значение соответствует наименьшему логическому элементу изображения или **пикселю**.
- Значение конкретного пикселя представляет закодированный цвет. Количество памяти (битов), необходимое для его кодирования называют **глубиной цвета**.



Глубина цвета изображений

- Глубина часто выражается в количестве бит на пиксель: *bpp*(bits per pixel) и варьируется от 1 до более 48.

- Количество оттенков, которые можно получить из пикселя заданной глубины $\boldsymbol{d}$ равно $\boldsymbol{2^d}$.

4-битное изображение

8-битное изображение

Глубина цвета изображений

24-битное изображение
16,777,216
цветов

8-битное изображение 256 цветов

4-битное изображение
16 цветов

2-битное изображение, 4 цвета

1-битное изображение, 2 цвета

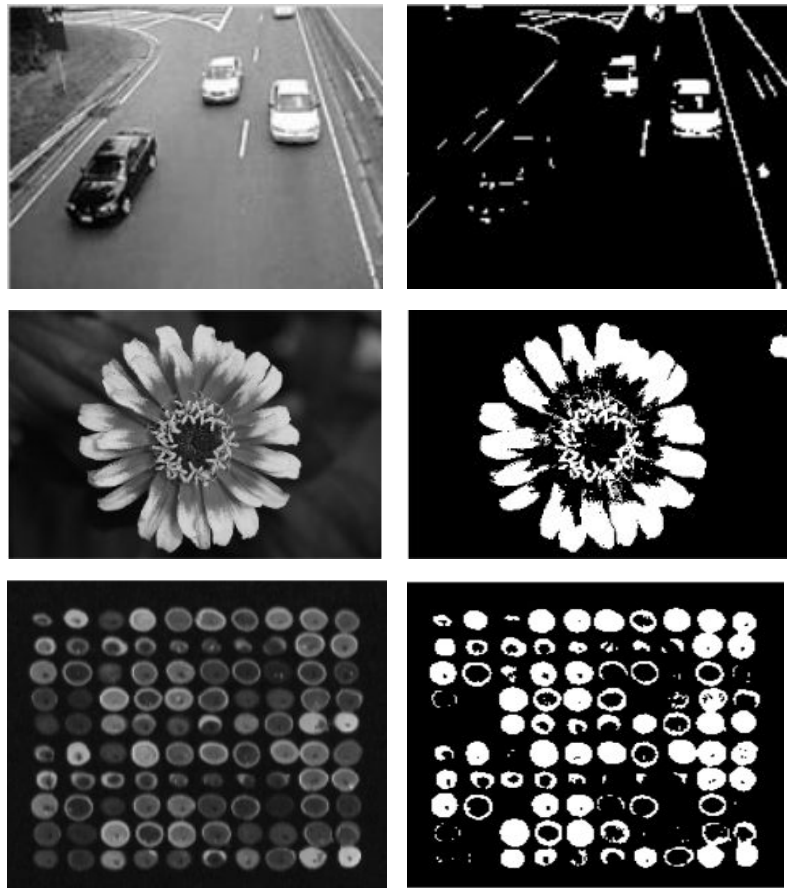
Способы кодирования цвета

Глубина цвета ($\boldsymbol{d}$) так же определяет способ кодирования цветовой информации.

- Например, для $\boldsymbol{d} = 1$ (***бинарные*** изображения, 2 оттенка)
и для $\boldsymbol{d} = 8$ (***полутоновые*** изображения, 256 оттенков) пиксели кодируются с помощью одномерной шкалы яркости.

Обычно это набор из чёрного и белого цветов и промежуточных оттенков серого.

Такие изображения называются монохромными.



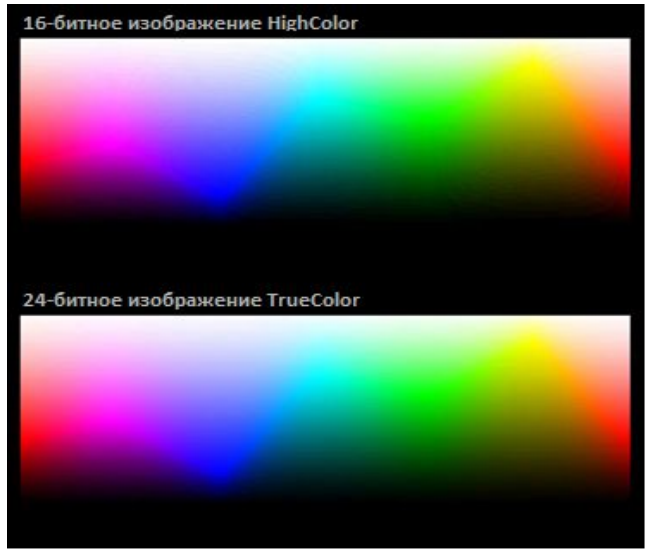
$\boldsymbol{d} = 8$ $\boldsymbol{d} = 1$

Способ кодирования «реальных» цветов

«Реальный» цвет представляется смешением красного, зелёного и синего цветов. Он, соответственно, кодируется 3 числами, отвечающими за их яркость. Такое кодирование называют RGB-моделью.

Для $\boldsymbol{d} = 16$ (High Color, 65 536 различных цветов) 5 бит используется для представления красной составляющей, 5 для синей, 6 для зелёной.

Для $\boldsymbol{d} = 24$ (True Color, 16,7 млн цветов) используется 8 бит для представления красной, синей и зелёной составляющих.

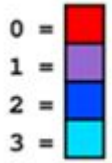


Способ кодирования с помощью палитры

- При относительно небольшой глубине цвета $(1 - 12)$ изображения кодируются с помощью дискретного набора цветов, каждый из которых описан в палитре (массиве цветов).

  Пиксель представляет собой индекс из этого массива.

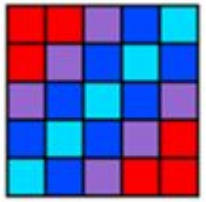
Примеры:



Палитра для глубины пикселя $\boldsymbol{d} = 2$

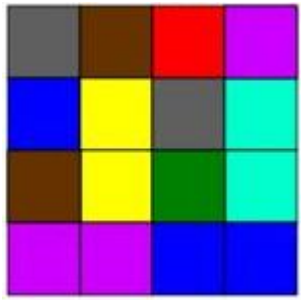
0	0	1	2	3
0	1	2	3	2
1	2	3	2	1
2	3	2	1	0
3	2	1	0	0

Закодированное индексированное изображение



Представление индексированного изображения

Палитра(неполная) для глубины пикселя $\boldsymbol{d} = 3$



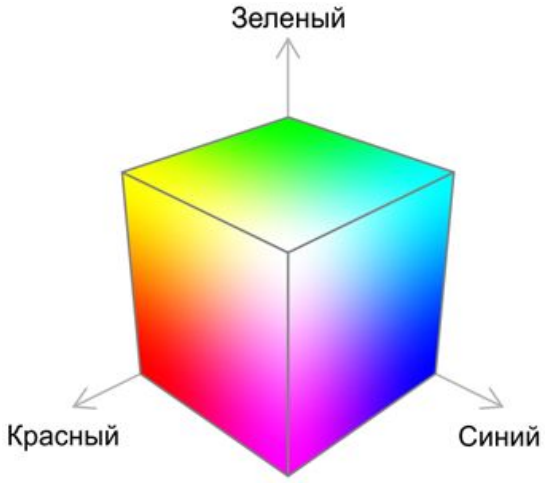
Представление индексированного изображения

4	3	0	2
1	7	4	5
3	7	6	5
2	2	1	1

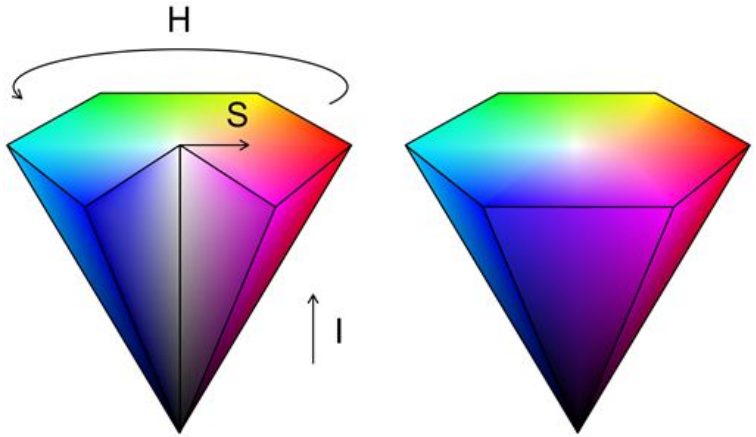
Закодированное индексированное изображение

Цветовые модели (пространства)

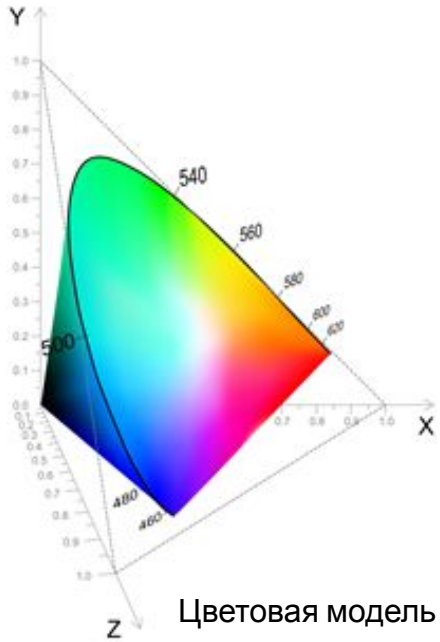
- Цвет пикселя можно кодировать целым вектором значений, где каждая компонента вектора будет отвечать за интенсивность определенной цветовой состовляющей: $pixel = (x_1, x_2, \dots, x_n)$.
- Способ разделения цветового оттенка на составляющие его компоненты называется цветовой моделью.



Цветовая модель RGB



Цветовая модель HSI



Цветовая модель CIE XYZ

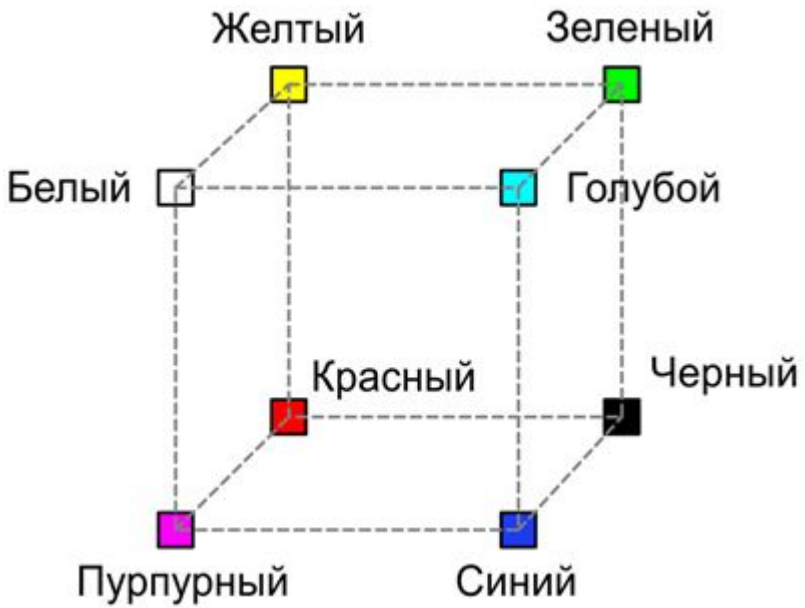
Цветовая модель RGB

- В модели RGB (Red – красный, Green – зелёный, Blue – голубой) все цвета получаются путём смешения трёх основных цветов – красного, зелёного и синего – в различных пропорциях.
- Пример использования - мониторы.



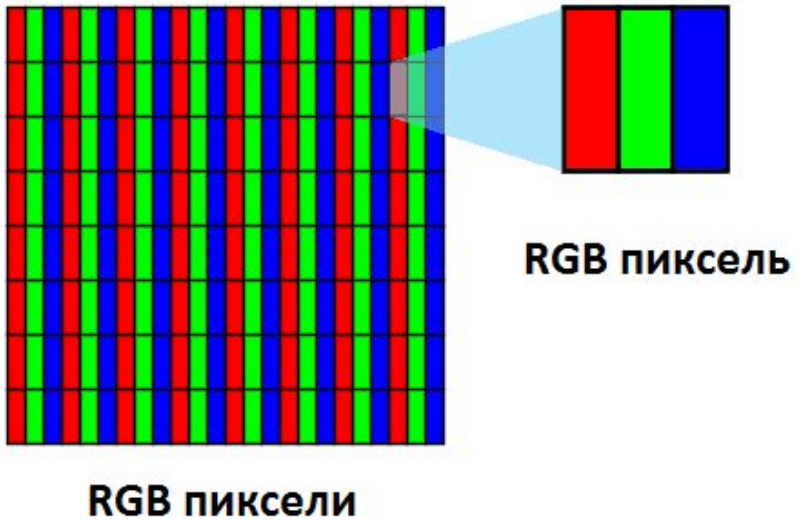
Цветовая модель RGB

Доля каждого базового цвета в имеющемся цветовом оттенке может восприниматься, как координата в соответствующем трёхмерном пространстве – ***цветовом кубе***.

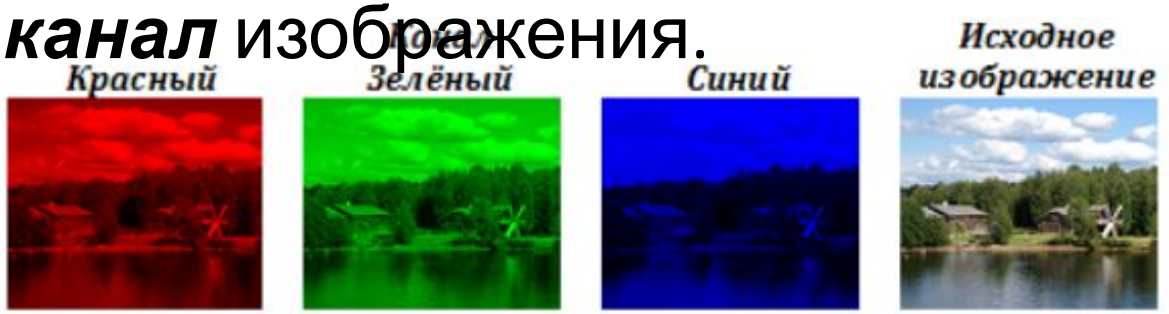


Цветовая модель RGB

- Пиксель в такой модели представляется как вектор коэффициентов интенсивности красной, зеленой и синей составляющих: $pixel = (r, g, b)$.

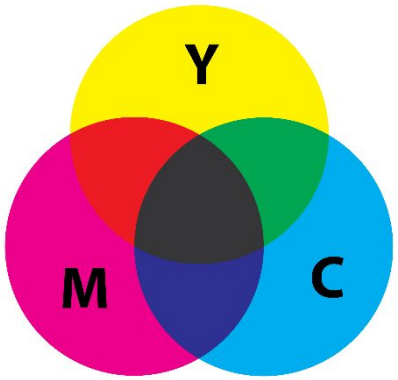


Если для всех пикселей изображения взять без изменения только одну составляющую (одинаковую для всех), а остальные занулить, мы получим ***цветовой канал*** изображения.



Цветовая модель CMYK

Субтрактивная модель CMY (от англ. cyan — голубой, magenta — пурпурный, yellow — жёлтый) получает цвета путём вычитания из белого цвета первичных RGB цветов.



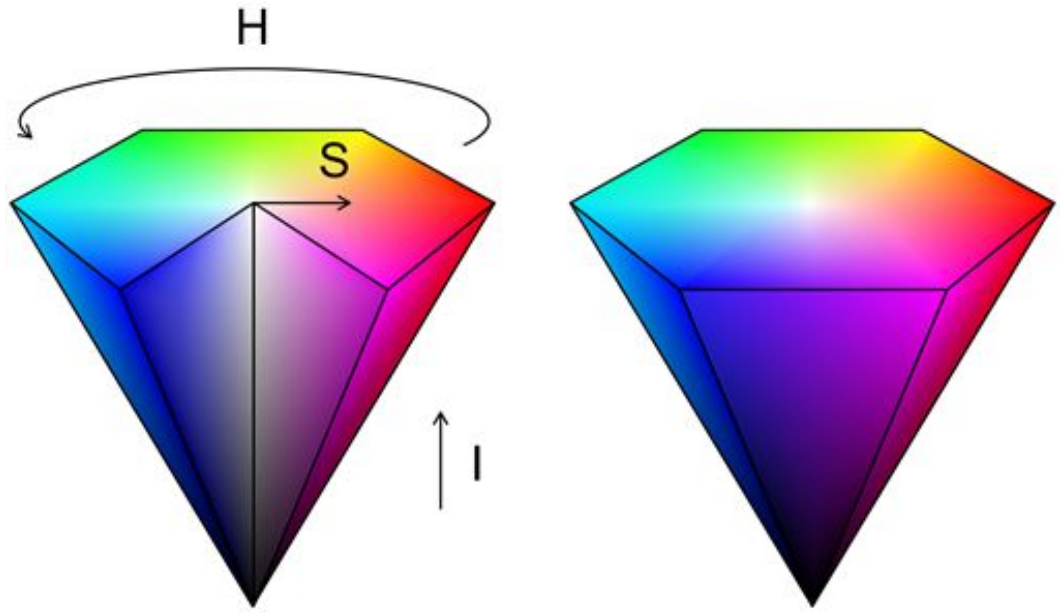
$$\begin{cases} C = 1 - R \\ M = 1 - G \\ Y = 1 - B \end{cases}$$

На практике модель CMY расширяют до модели CMYK, добавляя к трём цветам ещё и чёрный **K**[?] (от англ. black).

Модель используется в полиграфии для печати изображений.

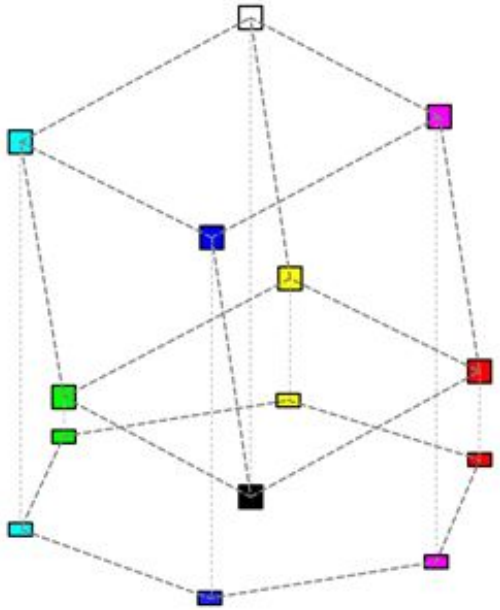
Цветовая модель HSI (HSL, HLS)

HSI (от англ. hue - тон, saturation - насыщенность, intensity - интенсивность) —цветовая модель, в которой цветовыми координатами являются тон, насыщенность и интенсивность.

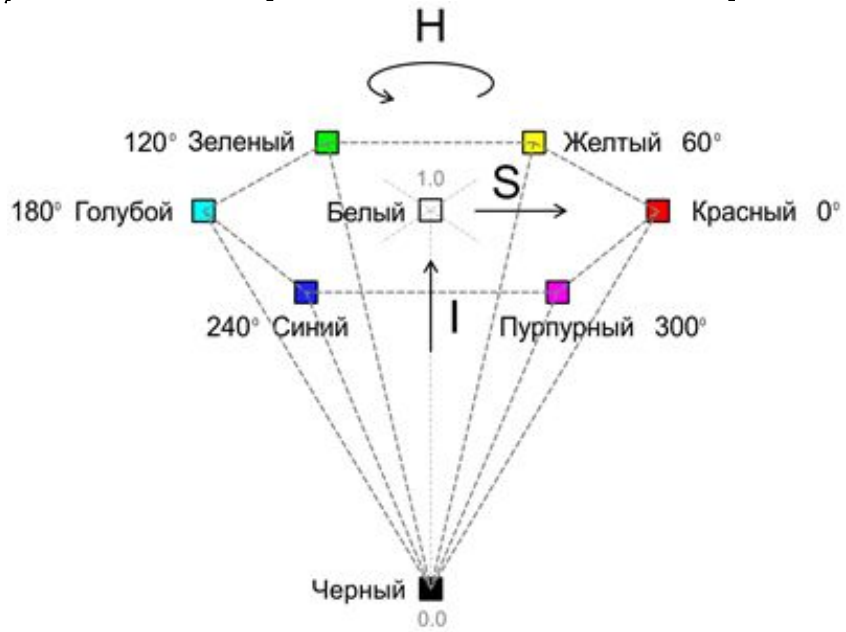


Цветовая модель HSI (HSL, HLS)

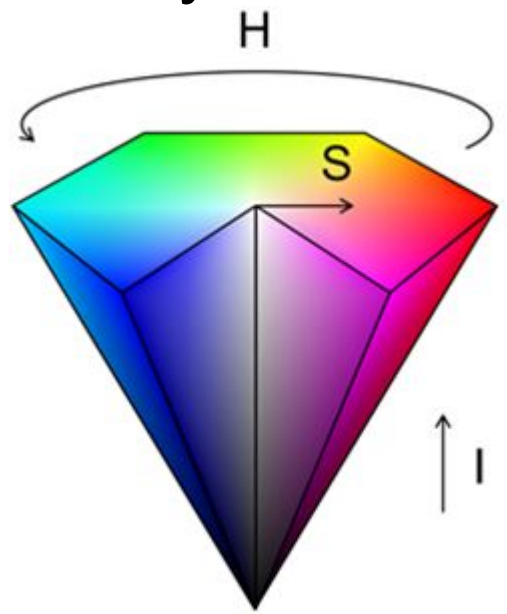
Если спроектировать RGB куб в направлении диагонали белый-чёрный и добавить вертикальную ось светлоты (или интенсивности), то получаем шестигранный конус HSI:



Проекция RGB куба в направлении диагонали белый-чёрный



Шестигранный конус HSI



Шестигранный конус HSI

Цветовая модель HSI

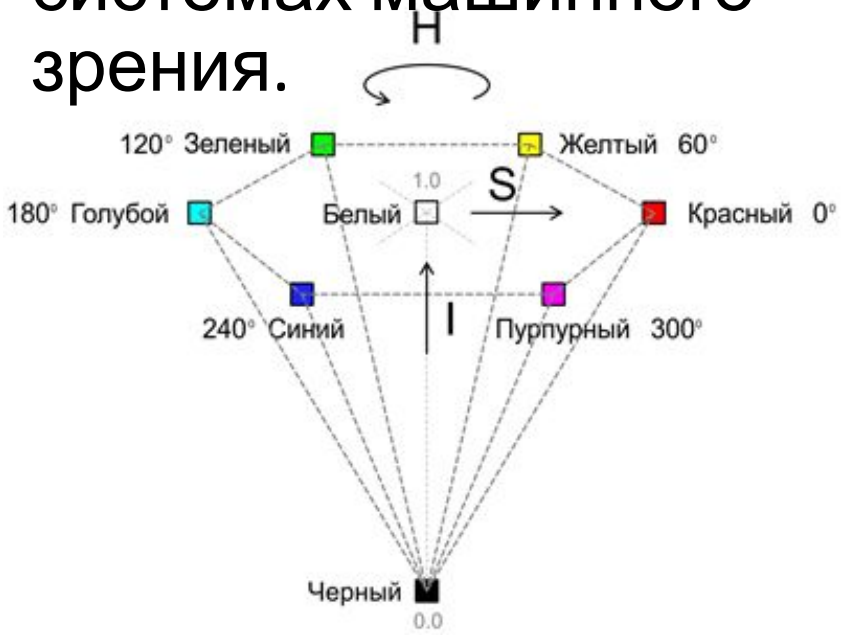
СЛООЖНА

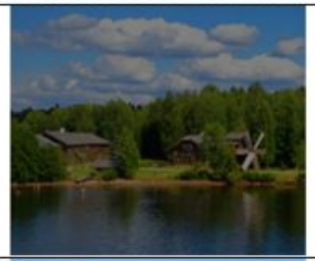
Алгоритм перевода из RGB в HSI можно выполнить, воспользовавшись следующими формулами:

$$\begin{cases} H = \begin{cases} \theta;\ B \le G \\ 360 - \theta;\ B > G \end{cases}, \text{где } \theta = \arccos\left(\dfrac{\frac{1}{2} * ((R-G)+(R-B))}{\sqrt{(R-G)^2 + (R-B)(G-B)}}\right) \\ S = 1 - \dfrac{3}{(R+G+B)} \min(R,G,B) \\ I = \dfrac{1}{3}(R+G+B) \end{cases}$$

Цветовая модель HSI

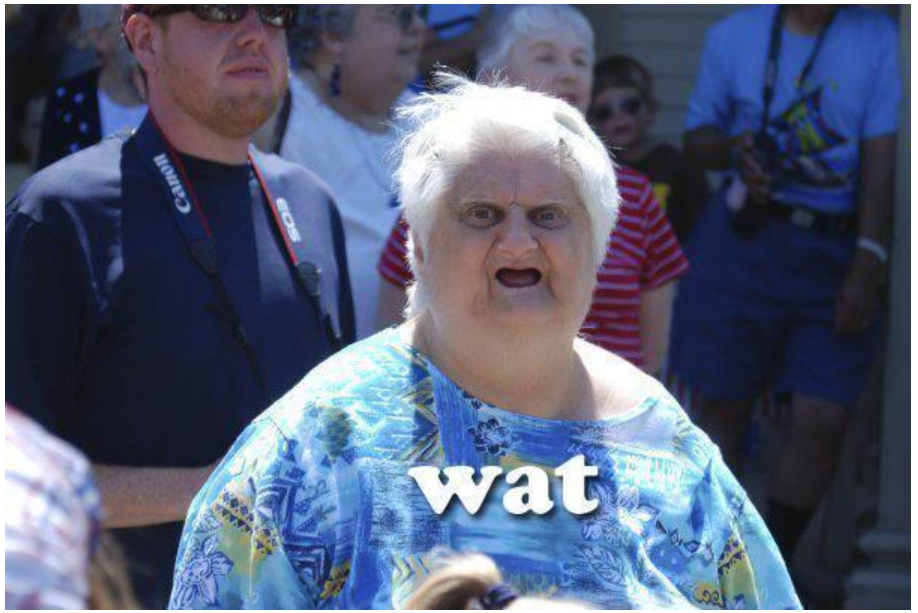
Модель очень популярна среди дизайнеров и художников, а также в системах машинного зрения.



	Интенсивность	*Тон*	*Насыщенность*
Уменьшенное значение			
Исходное значение			
Увеличение значение			

Цветовая модель CIE XYZ

Цветовая модель CIE XYZ была разработана с целью получить значения цвета и возможности отличать один спектр от другого, отталкиваясь от фотометрической яркости излучения (Y).

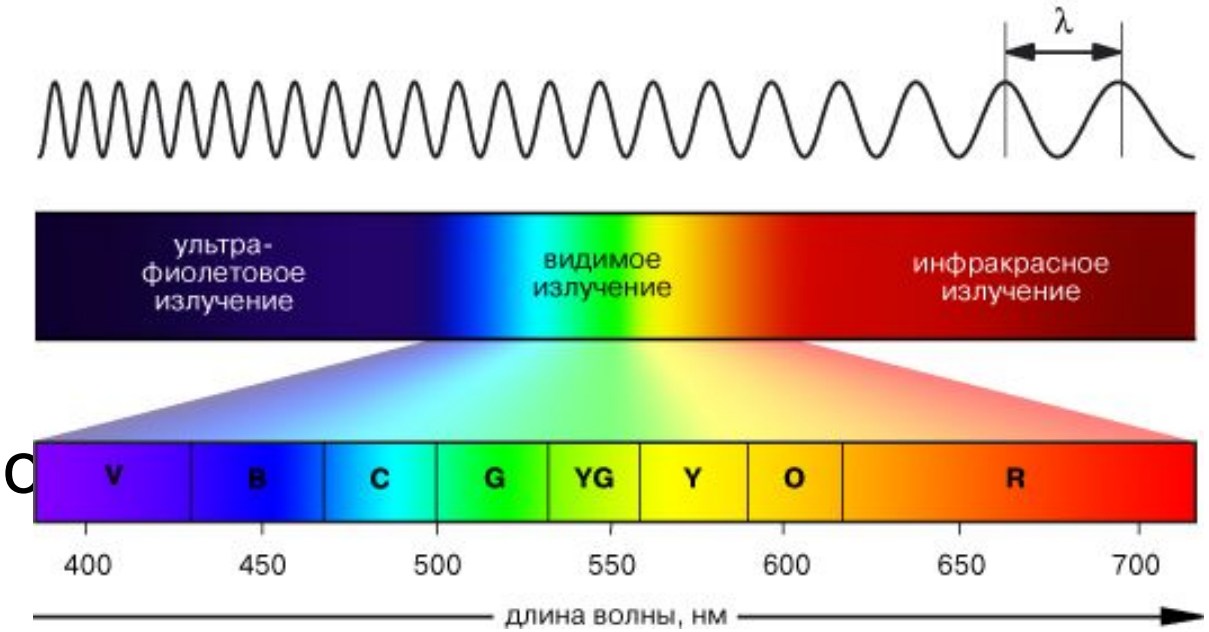


Предыстория...

- Что такое цвет?
- Визуальный колориметр.
- «Неидеальность» системы RGB.

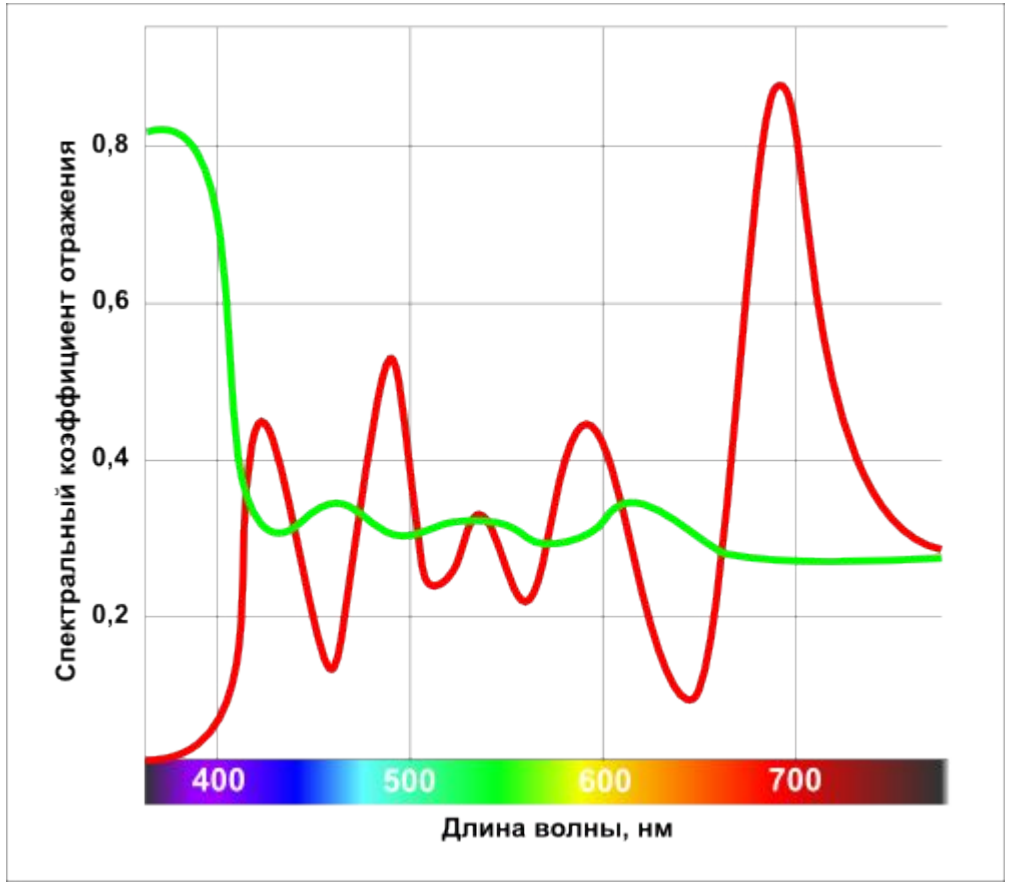
Что такое цвет?

- ***Цвет*** — это ощущение, которое испытывает человек при воздействии **света** на его глаза.
- ***Свет*** — это электромагнитное излучение.
  Диапазон длин волн света, видимых для глаза: 390-740 нм.
- Физике известны и легко поддаются измерению параметры света: ***мощность*** и ***спектральный состав*** (распределение мощностей по длинам волн — спектр).



Спектр электромагнитных излучений и спектр видимого света

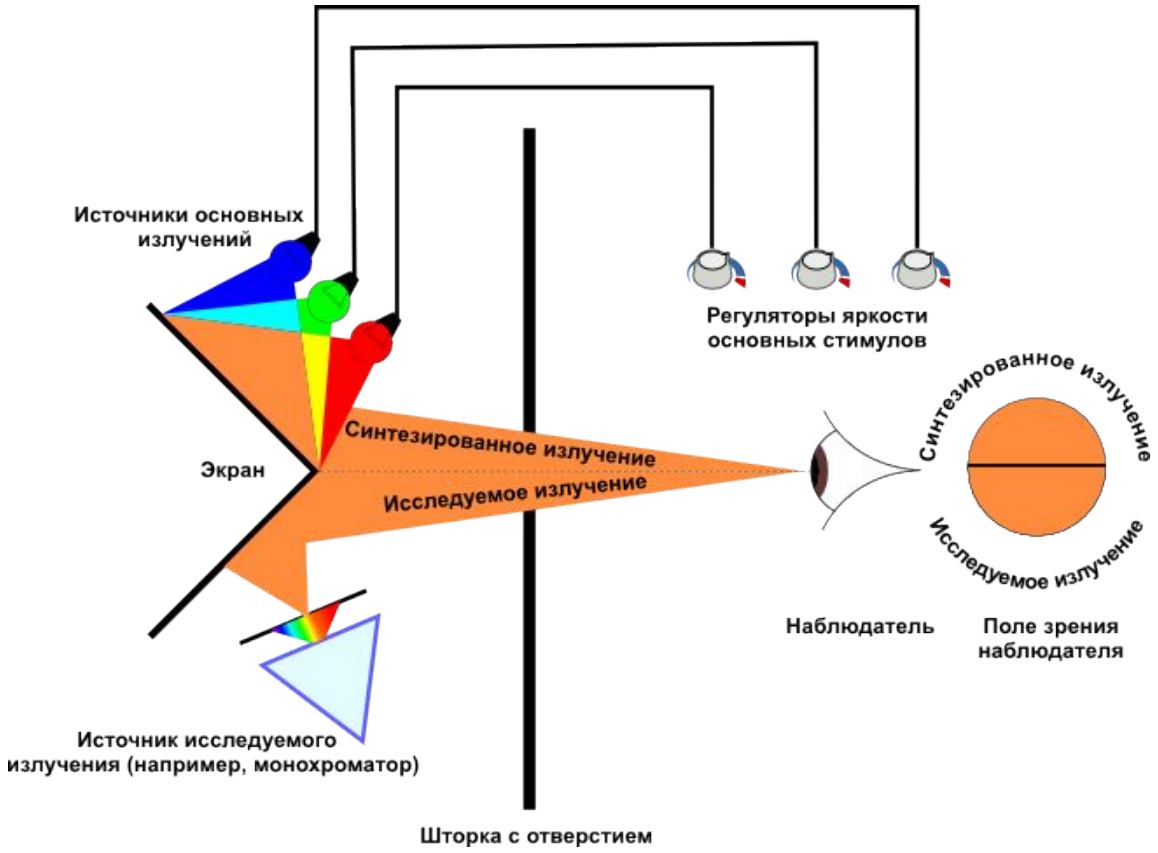
Что такое цвет?



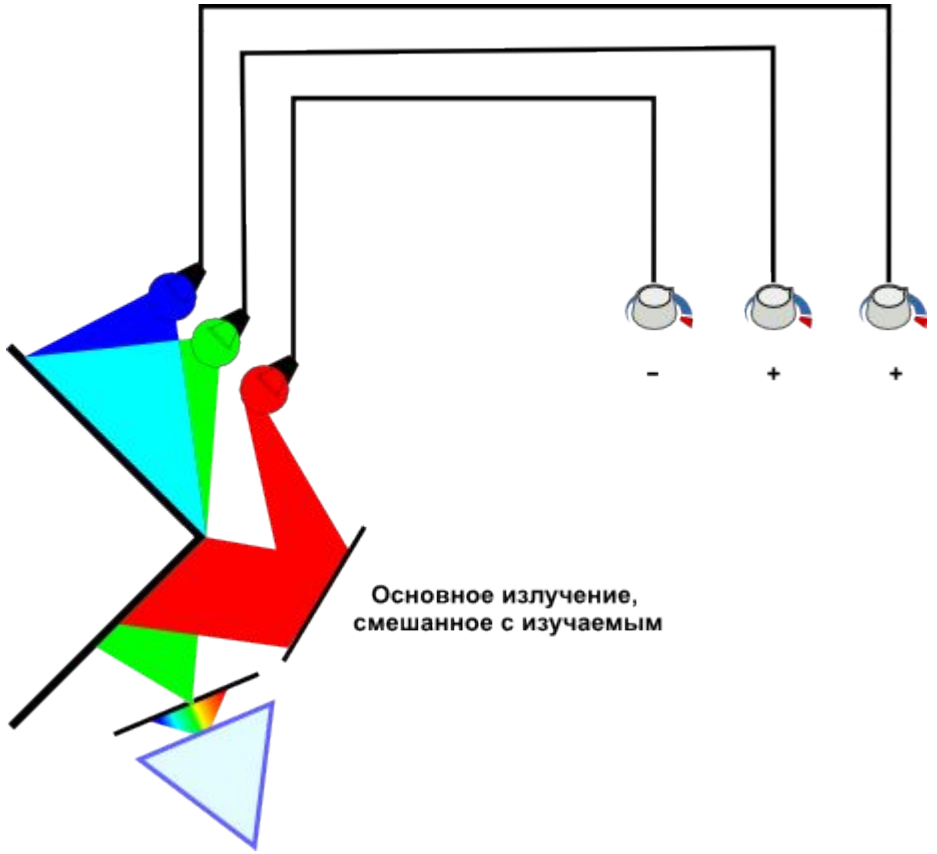
Два существенно разных распределения спектра определяют один и тот же цвет – серый.

Цвет — это реакция зрительной системы человека на свет, а не свойство излучения.

Визуальный колориметр



Процедура измерения цвета исследуемого излучения



Одно основное излучение прибора смешивается с исслеудемым излучением

«Неидеальность» системы RGB

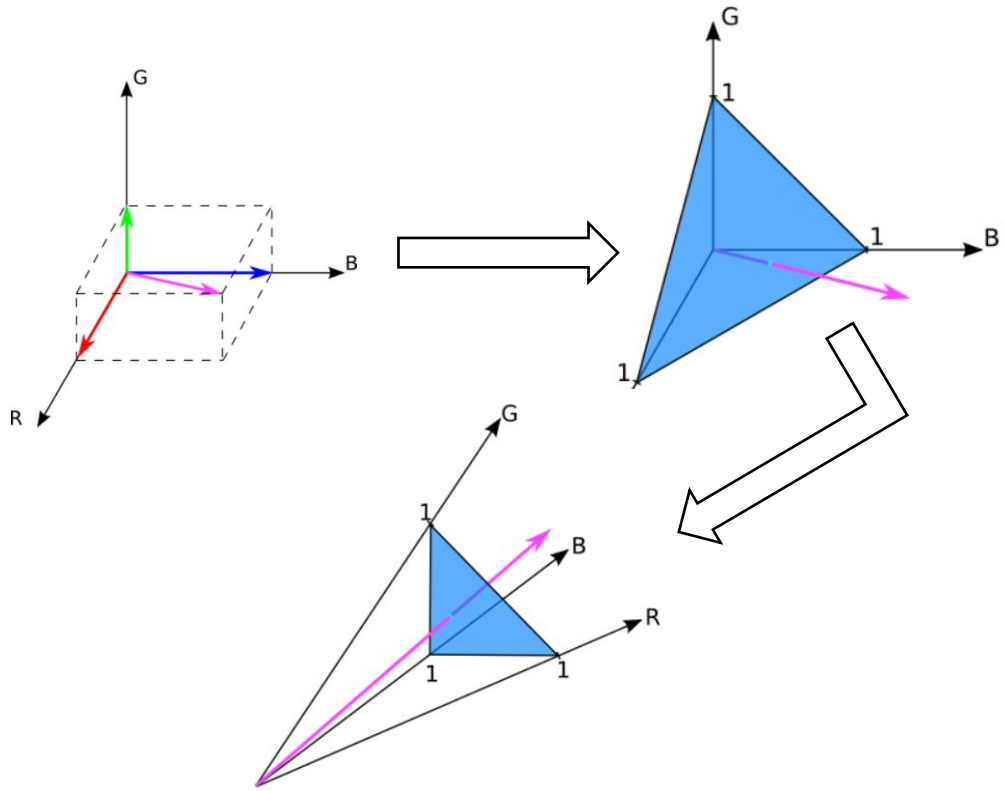
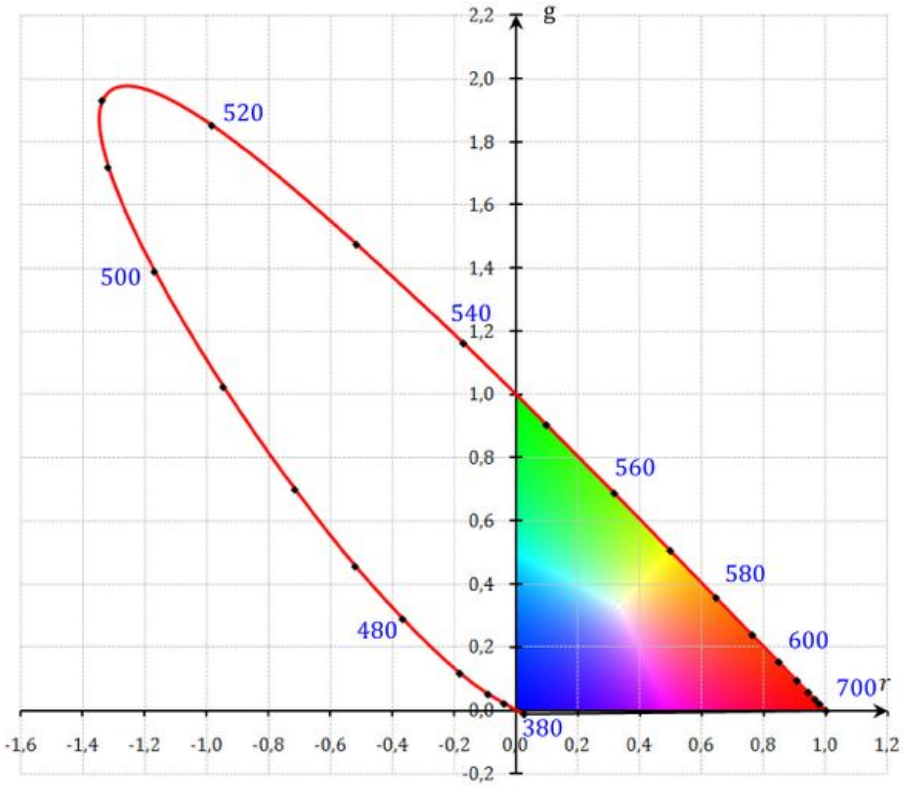


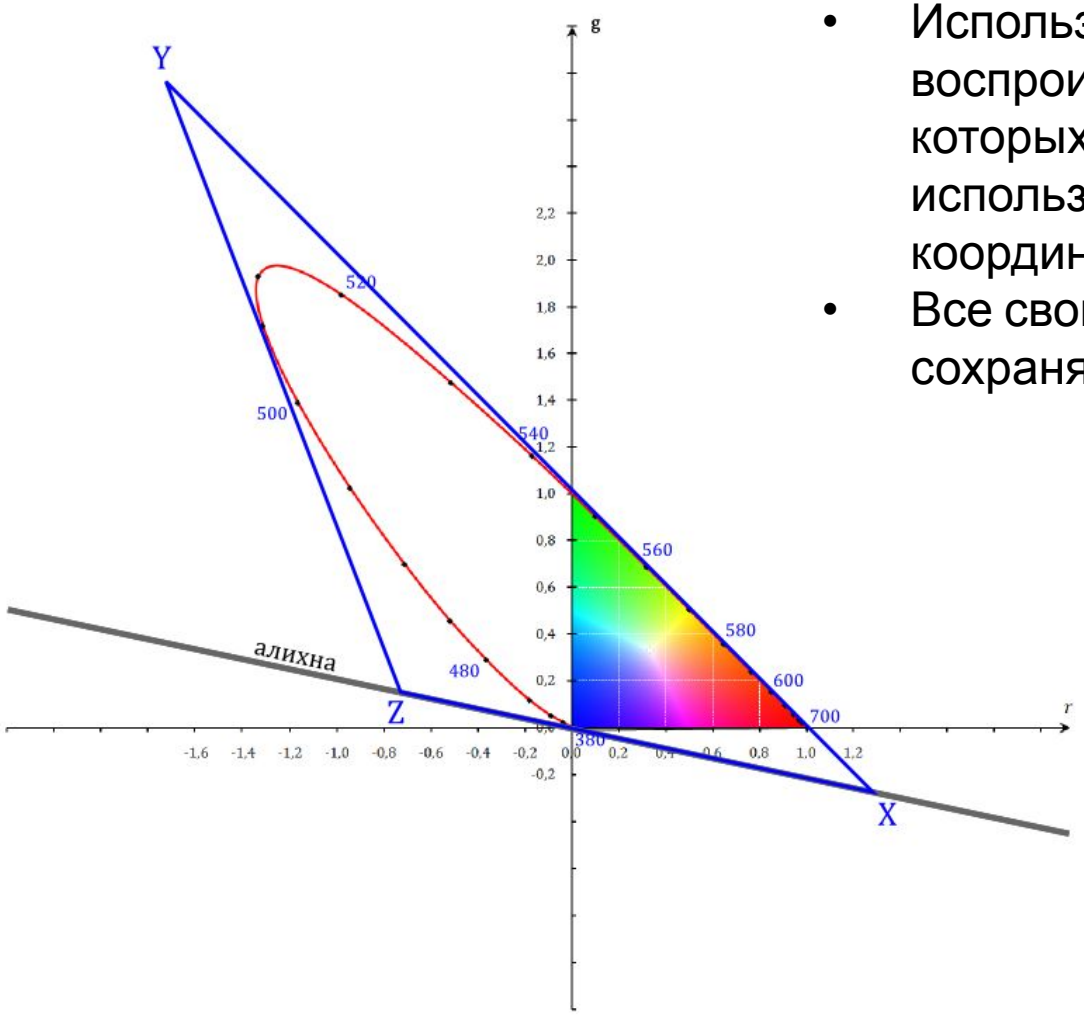
Диаграмма цветности показывает *соотношение* основных цветов независимо от светлоты.



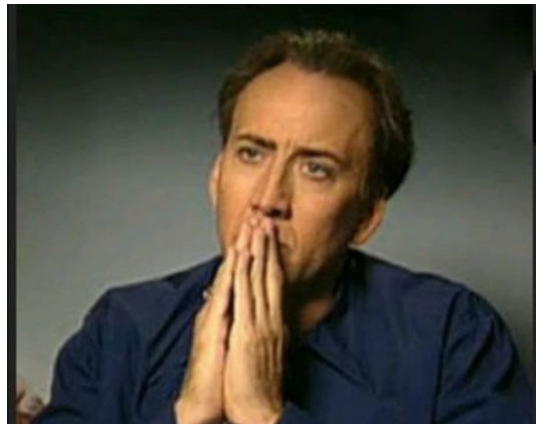
Треугольник цветностей основных излучений RGB и линия спектрально чистых излучений, ограничивающая область реальных цветов (красная линия).

Цветовое пространство CIE XYZ

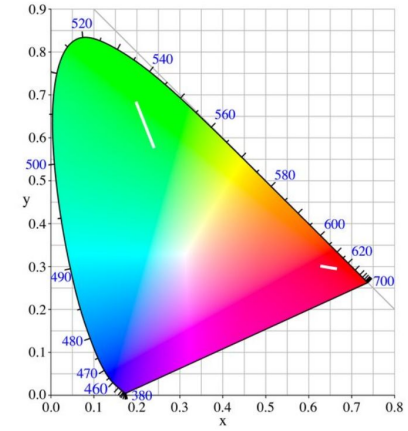
А что если...

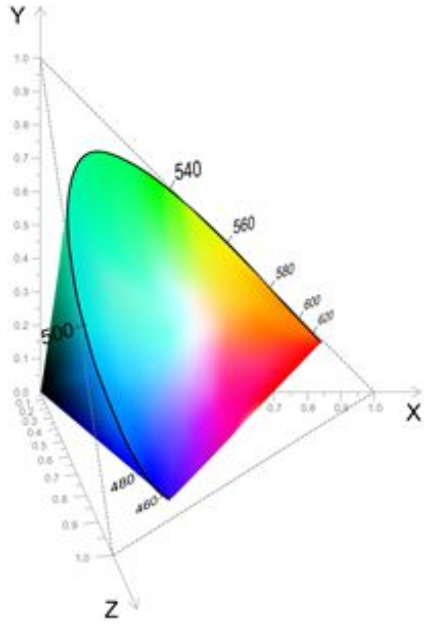


- Используем цвета, которые невозможно воспроизвести и увидеть, но координаты которых можно с лёгкостью использовать в уравнениях наравне с координатами реальных цветов.
- Все свойства смешения цветов для них сохраняются.



Цветовое пространство CIE XYZ





Основная причина создания системы XYZ — облегчения расчётов:

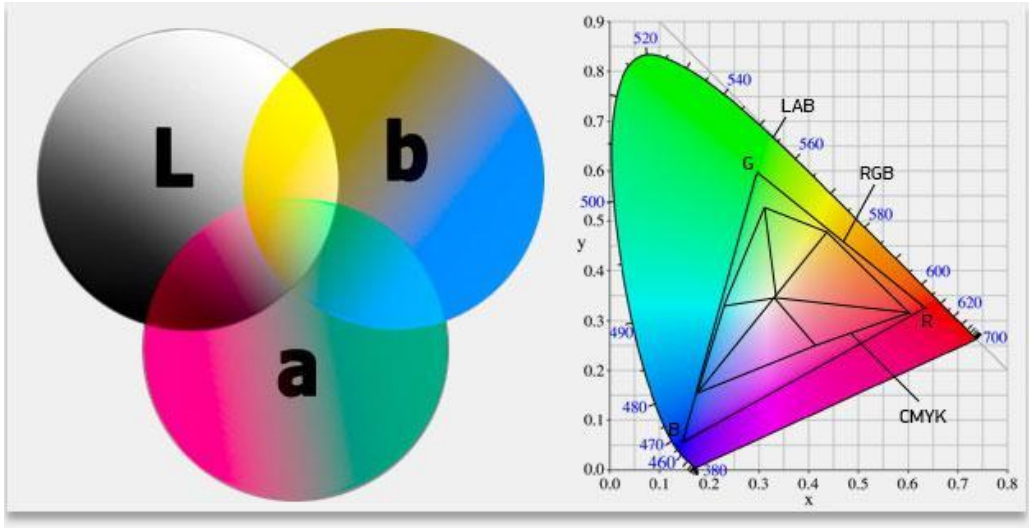
+ Координаты цвета и цветности видимых излучений будут всегда положительными.

+ Яркость полностью перешла к одному из трёх компонент системы — Y.

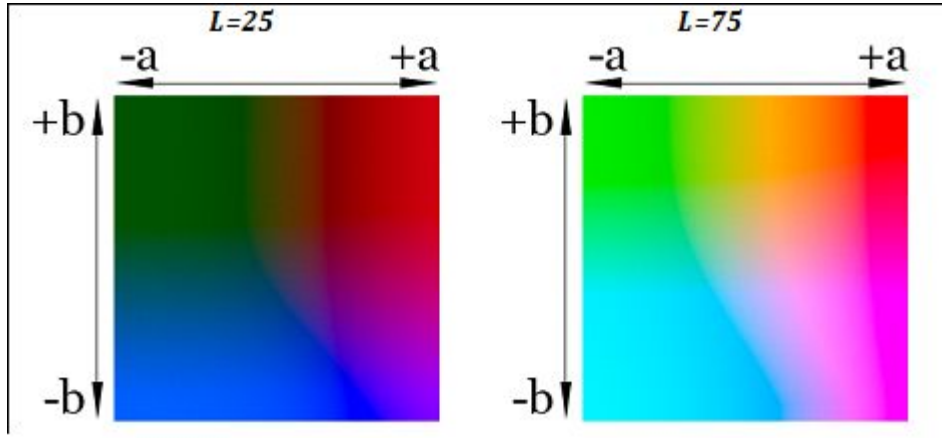
Единственный недостаток системы – это то, что равные отрезки на разных участках диаграммы не означают одинаковую воспринимаемую разницу в цвете.

Цветовое пространство CIE L*a*b*

Цветовое пространство CIE L*a*b* на данный момент является международным стандартом и разрабатывалось чтобы устранить нелинейность системы CIE XYZ с точки зрения человеческого восприятия.



Цветовое пространство CIE L*a*b*



Срезы цветового тела CIE L*a*b* для двух значений светлоты.

В системе CIE L*a*b координата L означает светлоту (в диапазоне от 0 до 100), а координаты a,b – означают позицию между зелёным-красным, и синим-жёлтым цветами.

Цветовое пространство CIE L*a*b* выводится из CIE XYZ.

Какую практическую пользу приносит CIE L*a*b*?

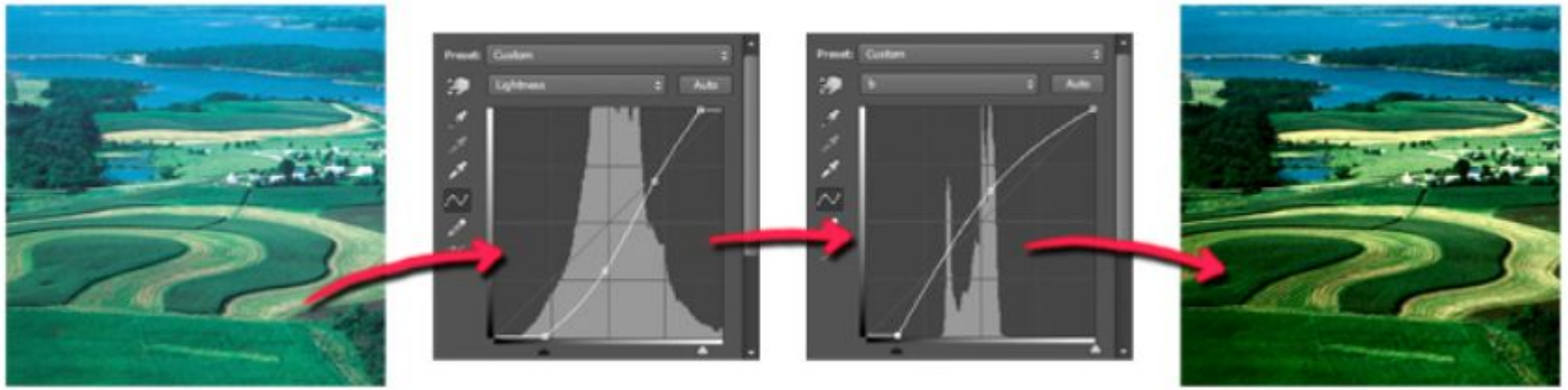
- CIE L*a*b* нашёл широкое применение в программном обеспечении для обработки изображений в качестве ***промежуточного*** цветового пространства.
- Он позволяет переводить картинки из одной цветовой модели в другую с выжимкой максимального качества из устройства, поскольку его цветовой диапазон шире, чем у электронных носителей.
- Adobe Photoshop по умолчанию использует его как посредник в конвертации изображений.

Какую практическую пользу приносит CIE L*a*b*?

[©]

- Редактирование изображений в таком пространстве ста мощным инструментом цветокоррекции.

[©]

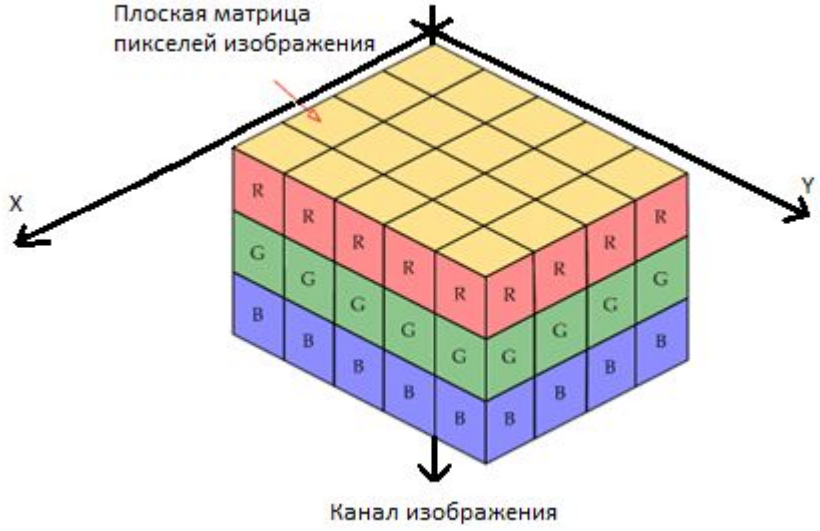


Пример коррекции изображения кривыми L и b в Adobe Photoshop.

Кривые L, a и b в Adobe Photoshop.

3-х мерное представление изображения

В соответствии с различными способами кодирования цвета, мы можем представлять цифровое изображение в виде не двумерного, а трехмерного массива, где за «дополнительное» измерение отвечает количество каналов изображения:



RGB 3D матрица изображения

Цифровая обработка изображений

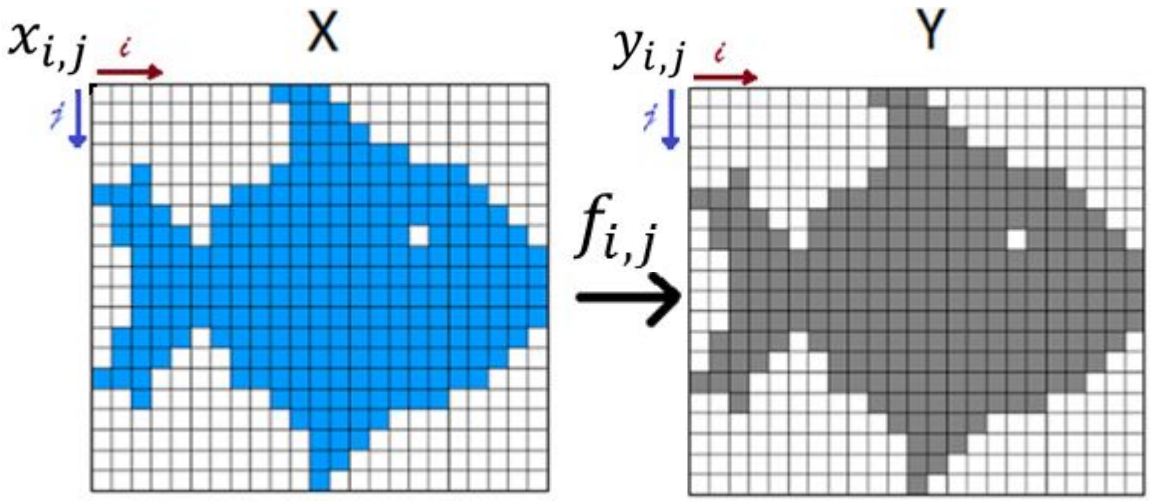
- Поэлементные преобразования изображений.
- Матричные преобразования изображений.
- Изменение размера изображения.

Поэлементные преобразования изображений

Пусть $x_{i,j}, y_{i,j}$ – значения яркости исходного и получаемого после обработки пикселя изображения в точке i, j.

Тогда, существует такая функциональная однозначная зависимость между яркостями $x_{i,j}$ и $y_{i,j} - f_{i,j}$, что: $y_{i,j} = f_{i,j}(x_{i,j})$.

Если обработка однородная, то $y = f(x)$.



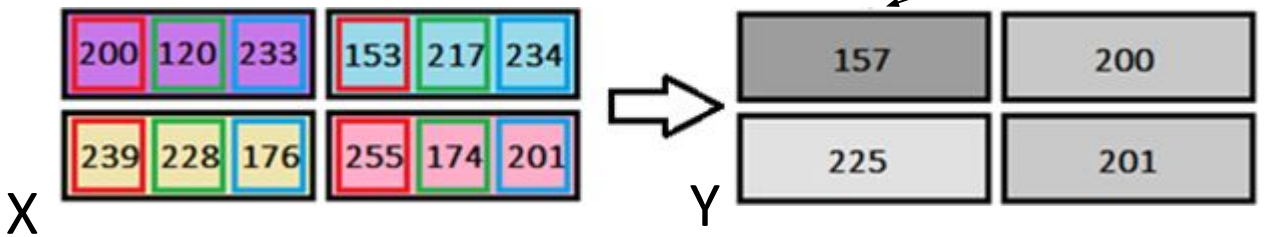
Поэлементные преобразования изображений

Примеры:

- Перевод изображения из одного цветового пространства в другое.
- Преобразование изображения в градации серого.
- Бинаризация.
- Контрастирование.

Преобразование изображения в градации серого и бинаризация

При конвертации в полутоновое изображение каждый пиксель вычисляется как: $y = 0.299x_r + 0.587x_g + 0.114x_b$

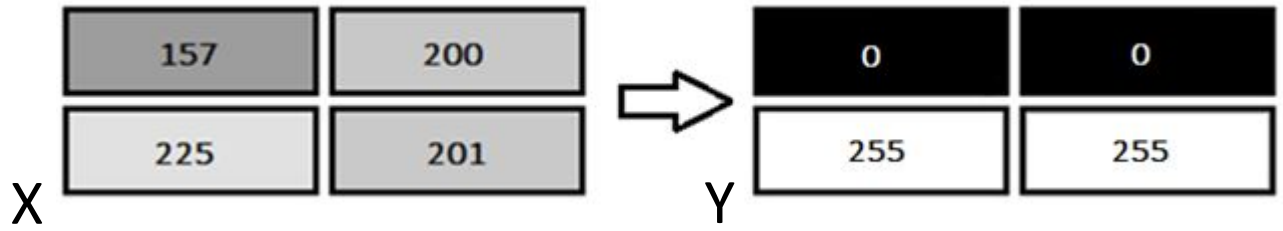


$$y(0,0) = 0.299 \times 200 + 0.587 \times 120 + 0.114 \times 233 \approx 157$$

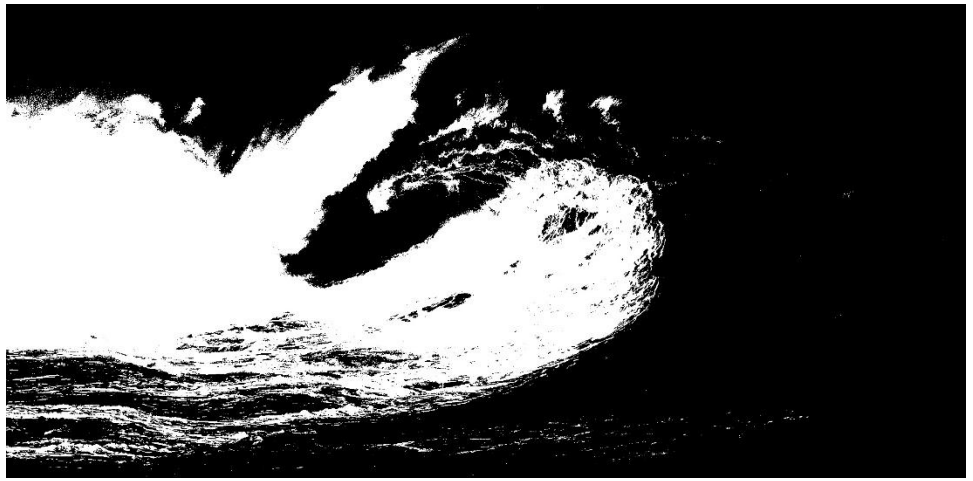
При бинаризации каждый пиксель вычисляется как: $y = \begin{cases} 255, \text{если } x > threshold, \\ 0, \text{иначе} \end{cases}$

Существует множество алгоритмов вычисления $threshold$ параметра.

Пусть $threshold = 200$



Преобразование изображения в градации серого и бинаризация



$threshold = 180$

Контрастирование изображения

При контрастировании изображения каждый пиксель вычисляется по формуле: $y = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}(y_{max} - y_{min}) + y_{min}$.

Пример:

Дано полутоновое изображение с $x_{min} = 180, x_{max} = 240$.

Цель – добиться минимальной яркости в изображении $y_{min} = 0$, максимальной - $y_{max} = 255$.

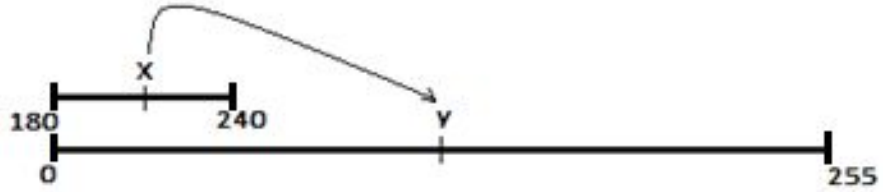


Иллюстрация формулы

$x_{min} = 180$
$x_{max} = 240$

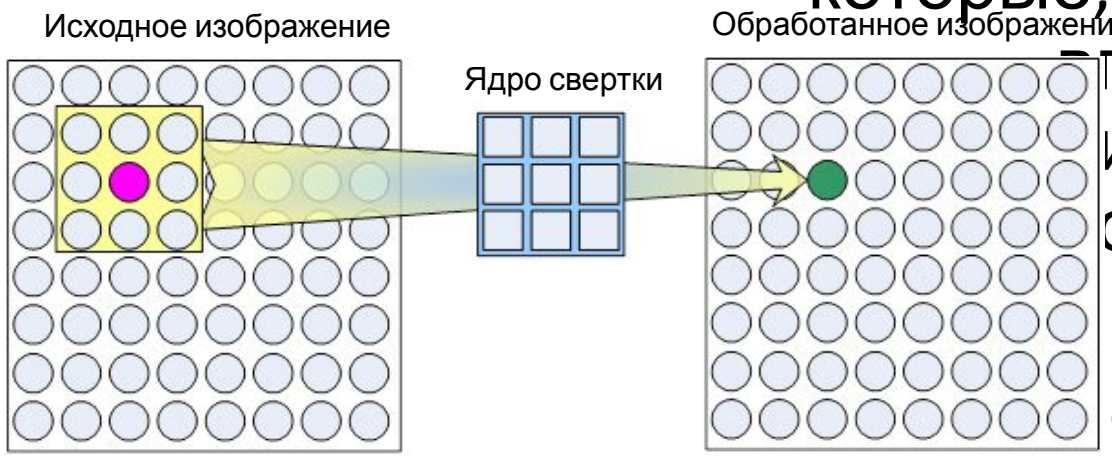
$y_{min} = 0$
$y_{max} = 255$

Матричные преобразования изображений

Матричные фильтры вычисляют ***новое значение пикселя*** учитыва
значения ***окружающих его пикселей***.

Для этого используется небольшая ***матрица свертки***, которая
накладывается на изображение своим центральным элементом на
высчитываемый пиксель. Матрица свертки хранит веса, на
которые,
последтствии умножаются
иксели исходного изображения,
опавшие в окрестность
ия матрицы.

олученные значения
складываются в результирующий
пиксель.

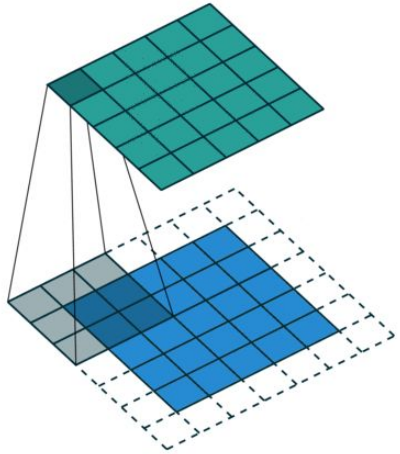


Матричные преобразования изображений

- При матричных преобразованиях координата y_{ij} будет рассчитываться следующим образом: $y_{ij} = \sum_k \sum_l f(k,l) \times x_{k+i,l+j}$, где $f(k,l)$ - матрица свертки (или ядро).

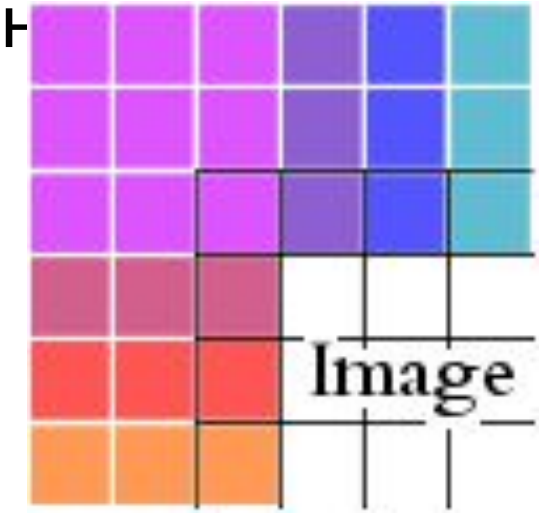
Матричные преобразования изображений

Ядро свертки обычно требует значений от пикселей за пределами изображения.



Решение: *расширение ребер изображения*.

Ближайшие граничные пиксели концептуальн
расширяются настолько, насколько это необходимо для обеспечения значений для свертки. Угловые пиксели растягиваются в квадратные фигуры. Остальные краевые пиксели растянуты линиями.



Фильтр размытия изображений

- Фильтр для размытия изображения Normalized Box Filter имеет ядро:

$$K = \frac{1}{\texttt{ksize.width*ksize.height}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & \cdots & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & \cdots & 1 & 1 \\ & & \cdots\cdots\cdots & & & \\ 1 & 1 & 1 & \cdots & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Пример его работы для ksize.width = 10, ksize.height = 10:

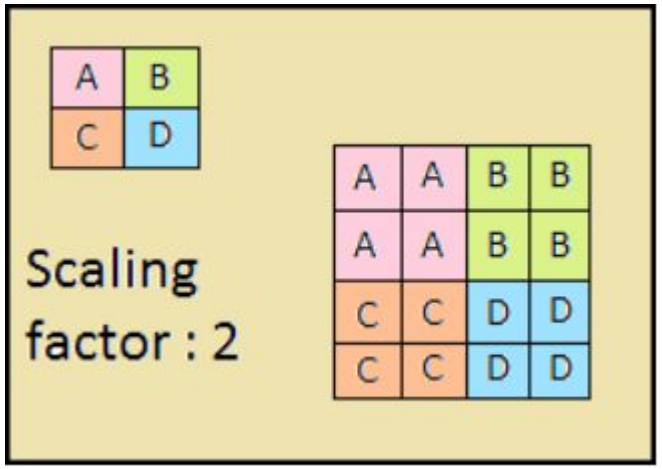
Фильтры для улучшения резкости изображений

- Следующая матрица определяет коэффициенты цифрового фильтра размером 3 на 3 пикселя, используемого для повышения резкости и

$-k/8$	$-k/8$	$-k/8$
$-k/8$	$k+1$	$-k/8$
$-k/8$	$-k/8$	$-k/8$

- Параметр *k* определяет степень повышения контраста.
- Пример для *k=8*:

Изменение размеров изображения



Алгоритм resize Nearest Neighbor:

1) Рассчитать ширину и высоту измененного изображения:

- Ширина измененного изображения = ширина × коэффициент масштабирования по ширине
- Высота измененного изображения = высота × коэффициент масштабирования по высоте

2) Пройти через каждый пиксель измененного изображения и скопировать ближайшее значение пикселя из исходного изображения.

Ближайшее значение рассчитывается по формуле:
i ÷ коэффициент масштабирования по высоте,
j ÷ коэффициент масштабирования по ширине.

Изображения были взяты из:

- Растровое изображение, википедия
- Изображение как двумерный массив данных
- Глубина цвета
- Color depth, википедия
- Converting BMP image to set of instructions for a plotter?
- Object Detection in Video Frames Using
- Microarray Spot Finding Example
- Investigate Bit Depth

Изображения были взяты из:

- Indexed Color
- Last time
- О цветовых пространствах
- Mark Impex Red Pigment
- Excelente accidente
- Pixel
- Che cosa sono l’RGB e il CMYK?
- WAT

Изображения были взяты из:

- Освещение для растений
- Основы теории цвета. Система CIE XYZ
- Graphical presentation of RGB 3d matrix
- Домик
- Интерьер
- Pixeled fish
- Waterfall
- Brightness and contrast

Изображения были взяты из:

- Blue big wave HD wallpaper
- Линейное контрастирование изображения
- Фильтрация зашумленных изображений
- Матричные фильтры обработки изображений
- Конволюция
- Kernel (image processing)
- Макро капли
- Nearest-Neighbor Method