

СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ

МЕДИАДААННЫХ

ВВЕДЕНИЕ В ЦИФРОВУЮ ОБРАБОТКУ ИЗОБРАЖЕНИЙ

д.т.н., доцент Вашкевич М. И.

vashkevich@bsuir.by



Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

Кафедра электронных вычислительных средств

План лекции

1. Введение
2. Задачи цифровой обработки изображений (ЦОИ)?
2. История развития ЦОИ
3. Источники изображений
4. Процесс получения изображения
5. Представление цифрового изображения
6. Яркостное и пространственное разрешение
7. Интерполяция цифрового изображения

Что такое медиаданные?

Медиаданные – термин, который объединяет в себе привычные для человека способы передачи информации (текст, аудио, изображения, видео).

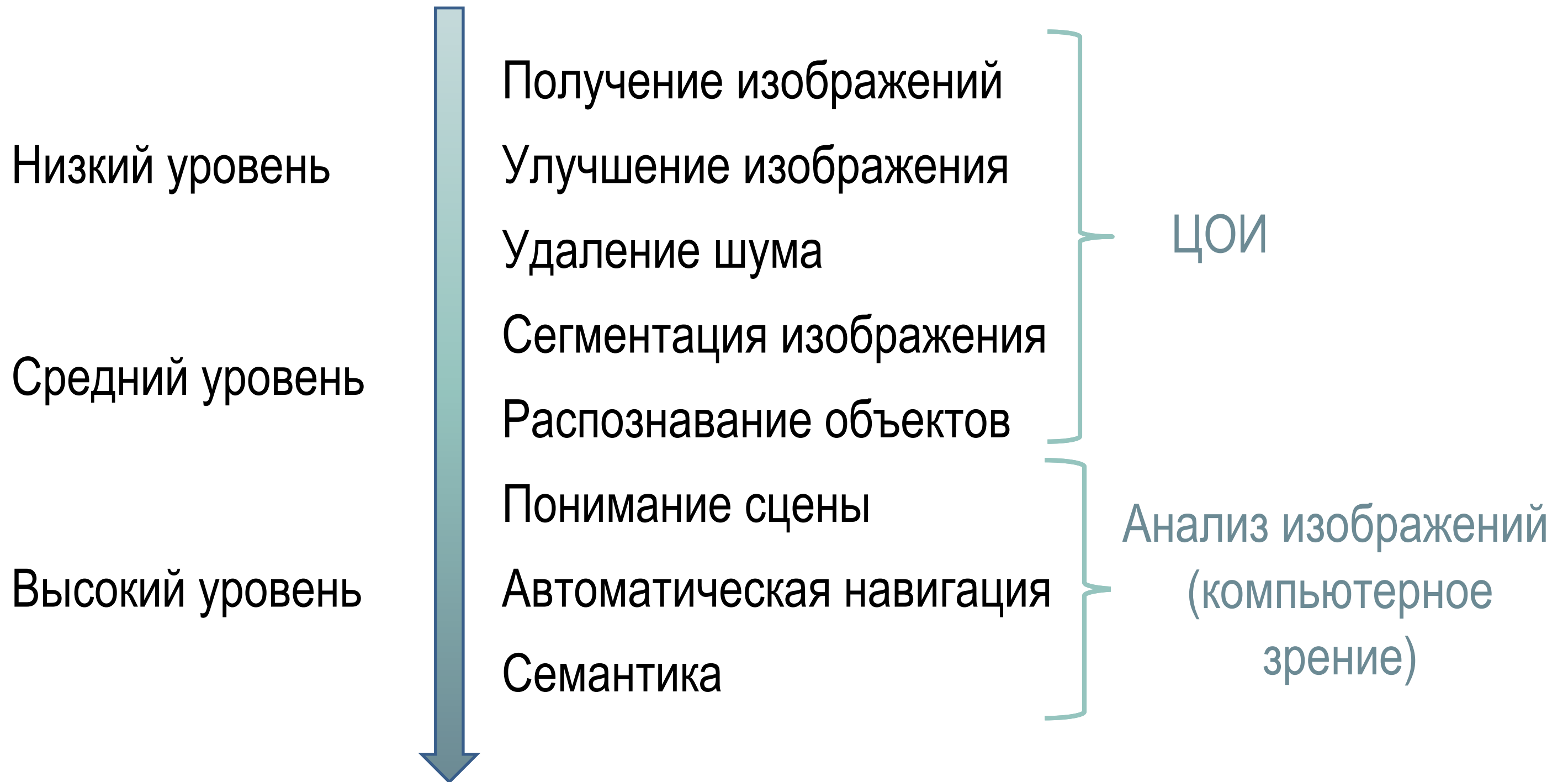
Данный курс состоит из двух частей:

- 1) Цифровая обработка изображений
- 2) Основы машинного обучения

Цифровое изображение – двумерная функция $f(x, y)$, где x, y – пространственные координаты, а амплитуда f называется **интенсивностью** в точке (x, y) .

Классификация задач ЦОИ

Цифровая обработка изображений – обработка цифрового изображения посредством компьютера.



Истоки ЦОИ

В 20-х годах XX века внедрена система «Бартлейн» для передачи изображений по кабелю, что позволило уменьшить время доставки иллюстраций через Атлантику с обычной недельной задержки до менее чем трех часов.

На специальном оборудовании выполнялось кодирование исходного изображения для передачи по кабелю; последующее восстановление изображения на приемной стороне выполнялось буквопечатающим аппаратом со специальным шрифтом, имитирующим различные уровни почернения.

Начало 1920-х: Одно из первых применений цифровых изображений было опробовано в газетном деле. Оно было передано по трансокеанскому подводному кабелю между Лондоном и Нью-Йорком в течении 3 часов.

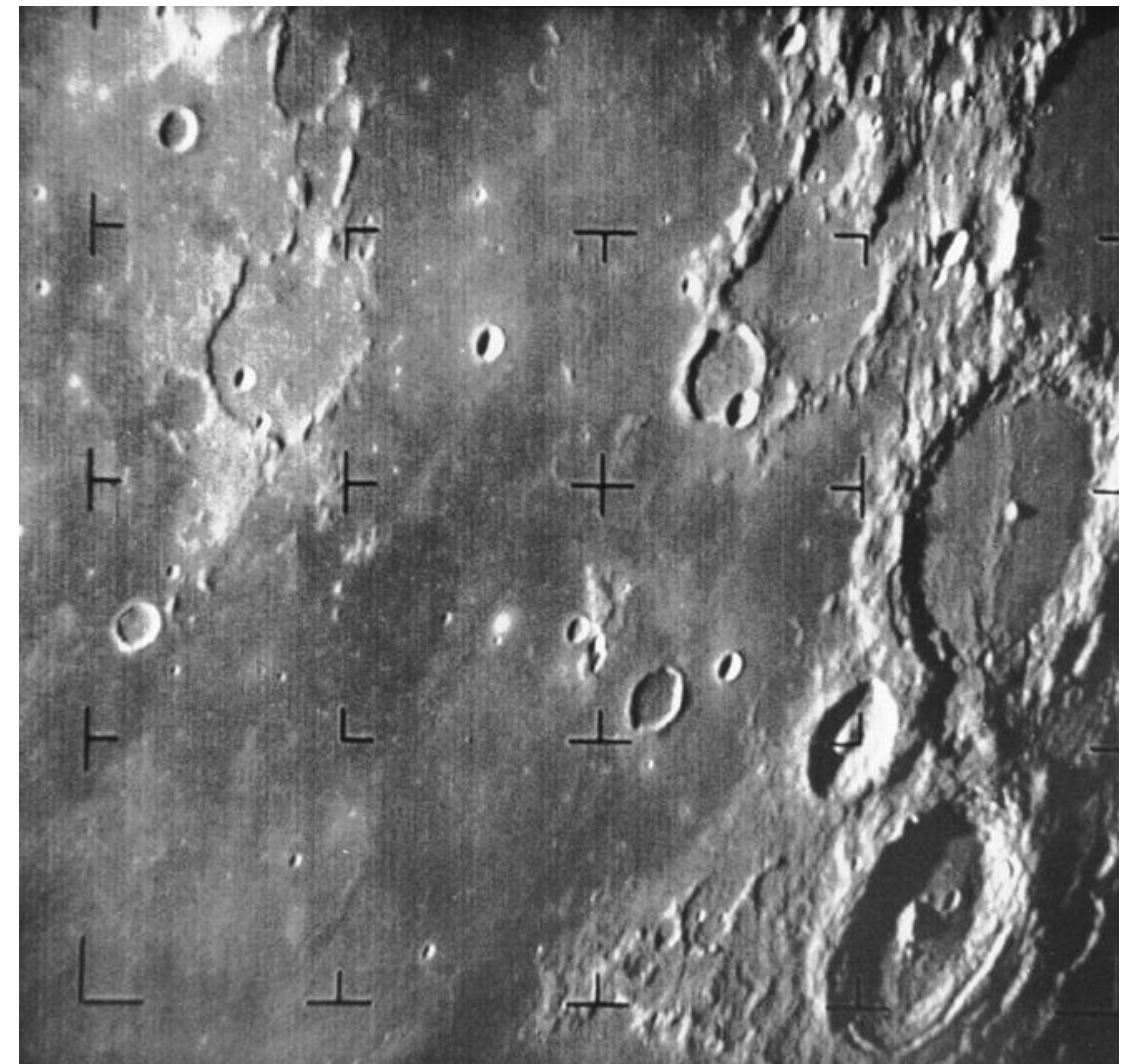


История развития ЦОИ

Начало 1960-х годов. Появляются первые компьютеры с мощностью, достаточной для выполнения задач цифровой обработки изображений.

1964 г., Калифорния. Переданные космическим аппаратом «Рейнджер-7» изображения лунной поверхности были подвергнуты компьютерной обработке для исправления различных искажений

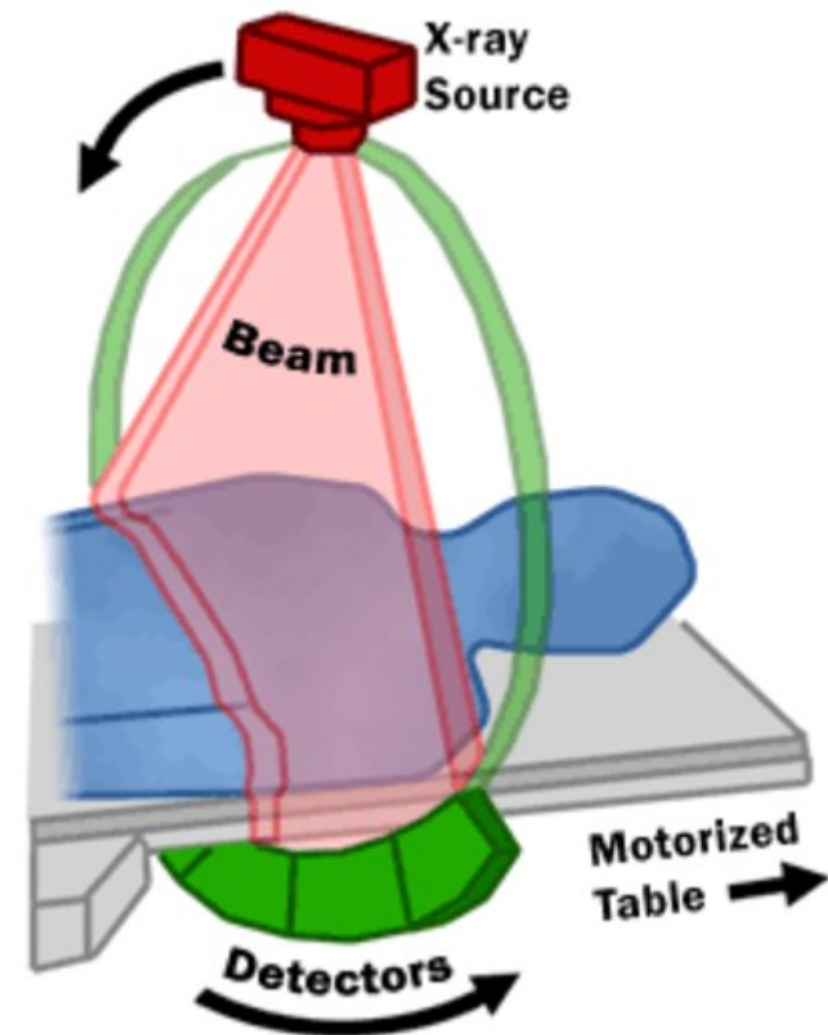
На фотографии видны метки так называемой ризо-маркировки, применяемой для коррекции геометрических искажений, обусловленных конструкцией бортовой телевизионной камеры



История развития ЦОИ

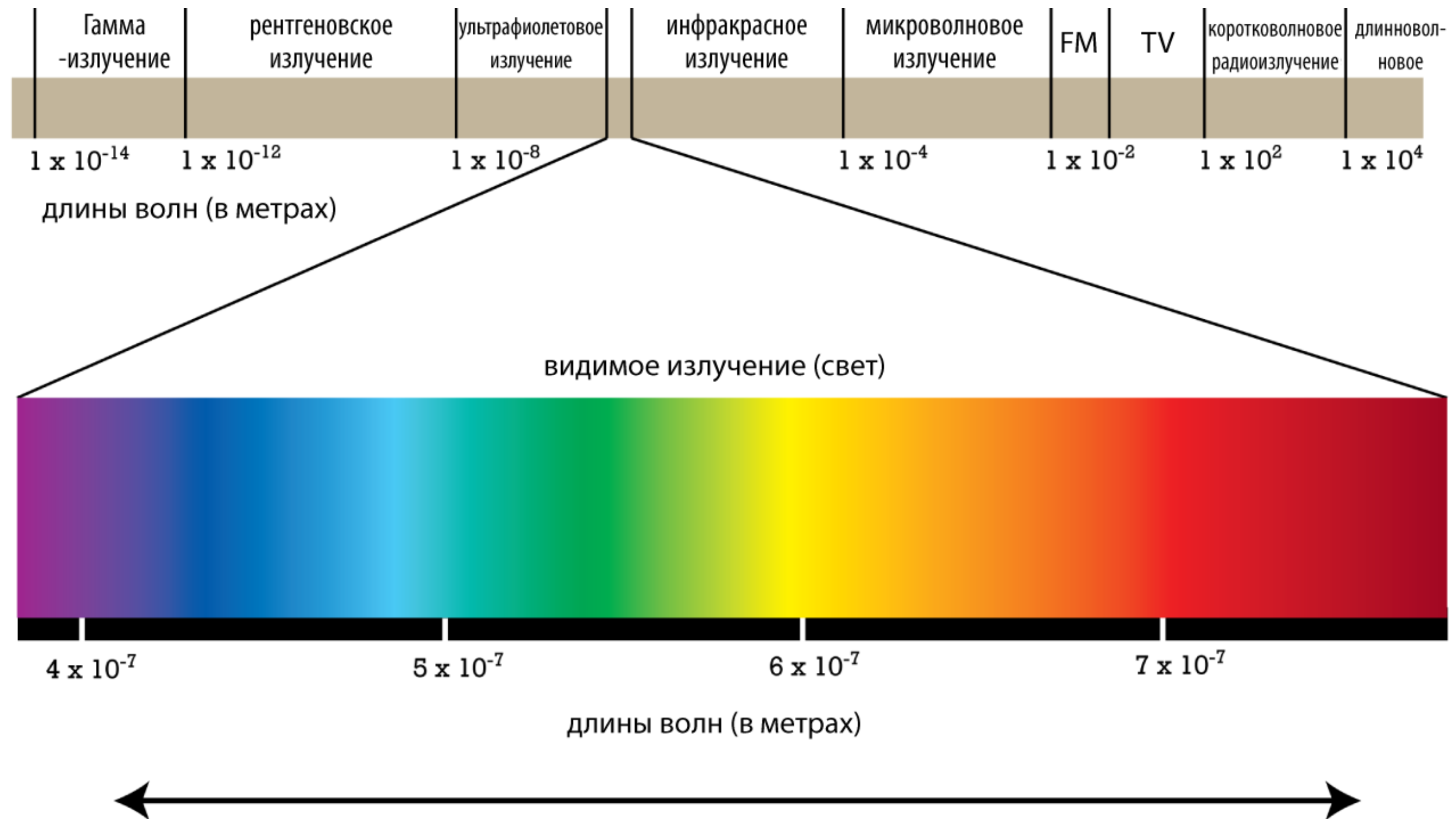
1970-е годы. Изобретение рентгеновская вычислительная томография, (компьютерной томографией, КТ), что стало важнейшим событием в области применения обработки изображений для медицинской диагностики.

При компьютерной томографии набор детекторов излучения и рентгеновский источник располагаются на кольце, внутрь которого помещается исследуемый объект (т. е. пациент), и кольцо вращается вокруг объекта.

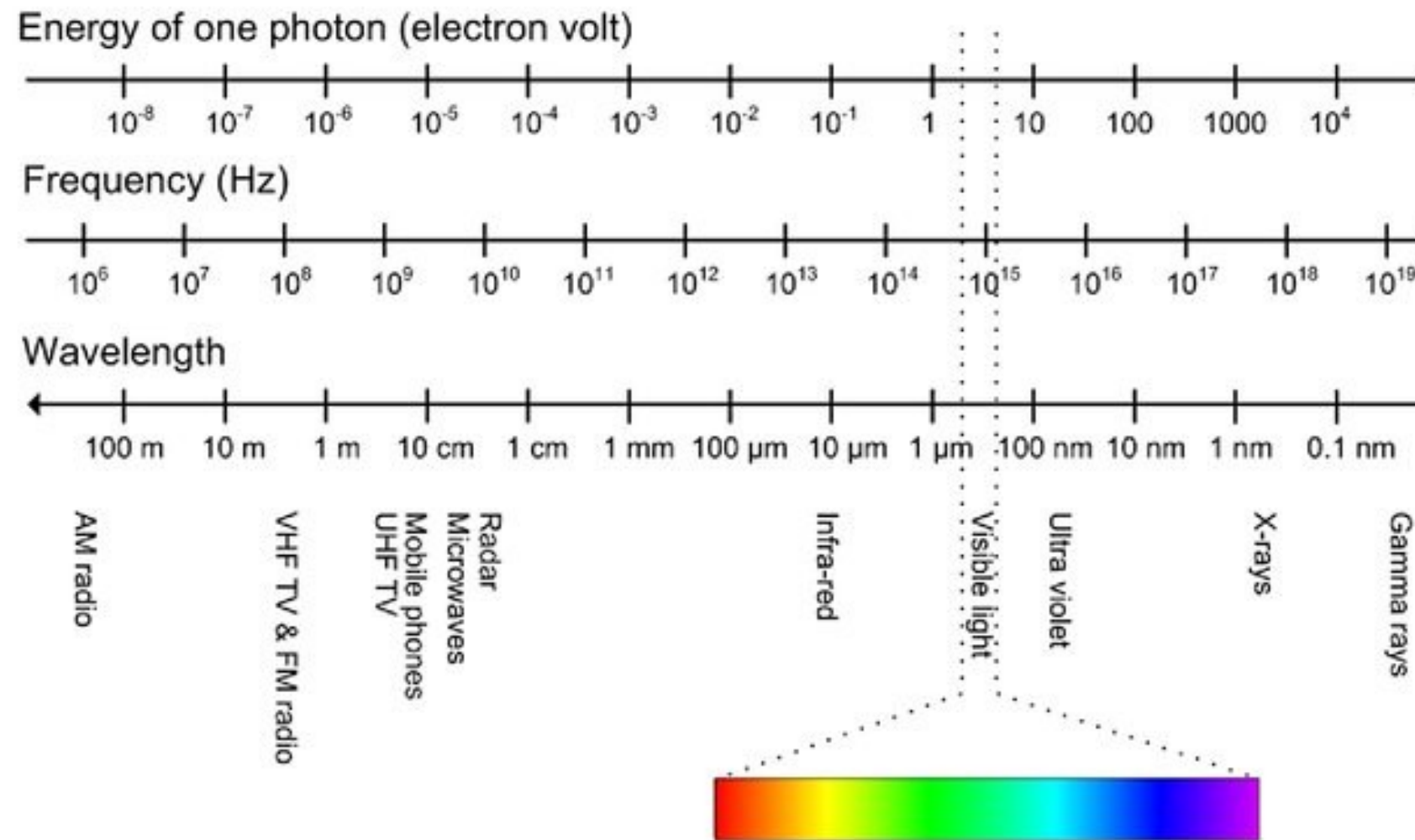


Источники изображений

Главным источником энергии для формирования изображений является электромагнитное излучение (ЭМИ).



Электромагнитный спектр



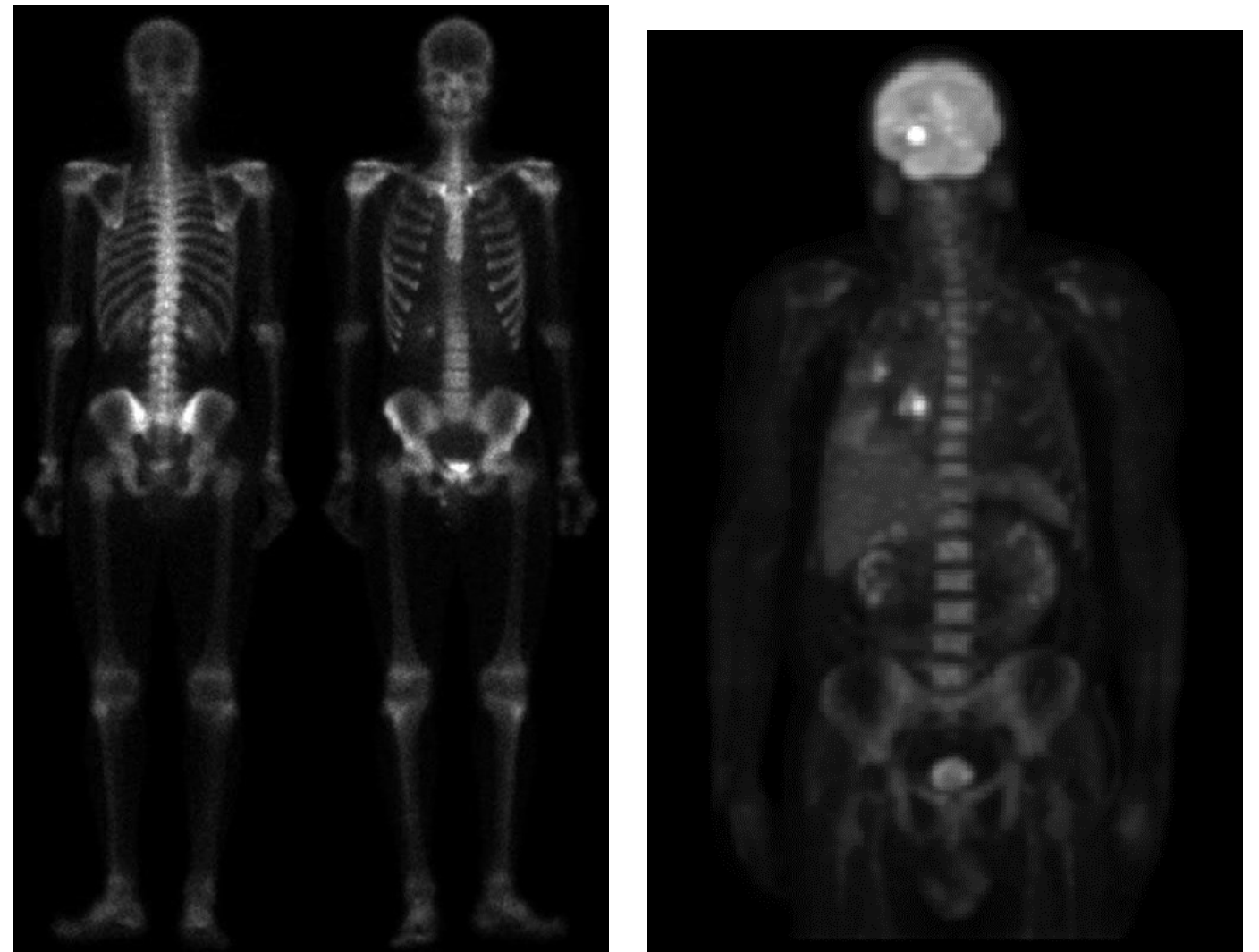
- **Гамма-лучи** (медицинская радиология, космические исследования);
- **Рентгеновские лучи** (медицина, промышленность, астрономия);
- **Ультрафиолетовое излучение** (лазерная техника, микроскопия,);
- **Видимый и инфракрасном диапазон;**
- **Микроволны** (радиолокация);
- **Радиоволны.**

Пример: Медицинская радиология

В медицинской радиологии применяется подход, при котором пациенту вводится радиоактивный изотоп, распад которого сопровождается гамма-излучением. Это излучение регистрируется детекторами **гамма-излучения**, сигналы которых и используются для формирования изображения.

Изображения такого вида используются для обнаружения участков различных патологий костей, в частности при инфекционных или онкологических заболеваниях

Позитронная эмиссионная томография (ПЭТ)



Пример: Рентгеновские лучи

Рентгеновские лучи — один из самых старых источников электромагнитного излучения, используемых для получения изображений. Рентгеновские лучи применяют для медицинской диагностики, они также широко используются в промышленности и астрономии.

Рентгеновское излучение для формирования изображений в медицине и промышленности генерируется с помощью рентгеновской трубки.

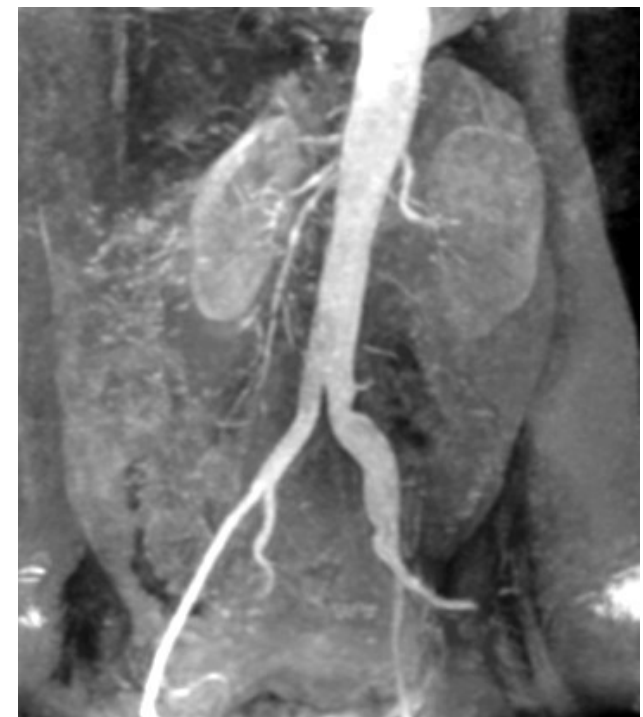
Снимок грудной клетки, получаемый при помещении пациента между рентгеновской трубкой и чувствительной к рентгеновскому излучению пленкой. При прохождении рентгеновских лучей через тело пациента их интенсивность изменяется в зависимости от степени поглощения (рассеяния), и окончательный уровень энергии фиксируется на рентгеновской пленке.



Пример: Рентгеновские лучи

Ангиография используется для получения изображений кровеносных сосудов. В артерию или вену вводится катетер (тонкая гибкая трубка), который продвигается вдоль сосуда, пока не достигнет обследуемой зоны. Затем через катетер впрыскивается контрастное вещество, хорошо поглощающее рентгеновские лучи. Благодаря этому усиливается контраст рентгеновского изображения кровеносных сосудов, что позволяет врачу-радиологу видеть аномалии кровоснабжения или места закупорки сосудов.

Ангиограмма – изображение кровеносных сосудов



Пример: Ультрафиолетовый «свет»

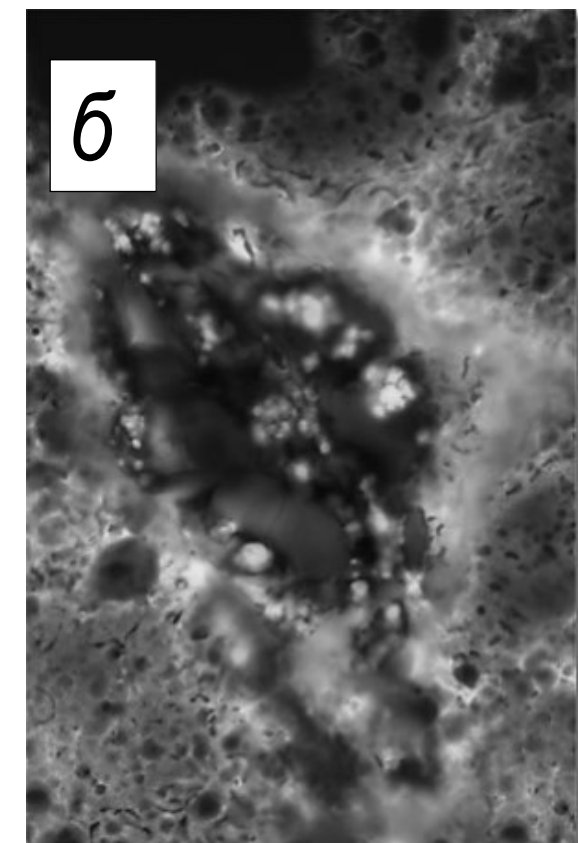
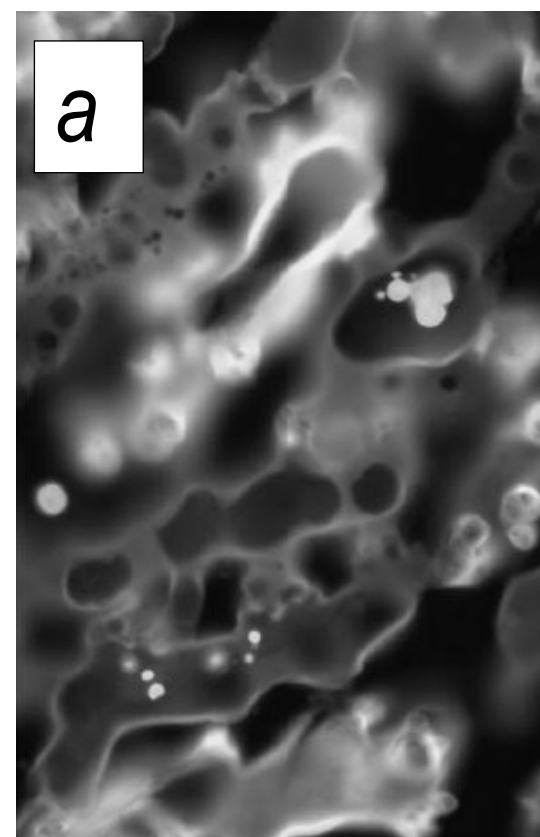
Ультрафиолетовый «свет» находит применения в литографии, производственном контроле, микроскопии, лазерной технике, биологических и астрономических наблюдениях.

Флуоресцентная микроскопия – метод исследования материалов, обладающих флуоресцирующими свойствами, либо в естественной форме, либо в результате обработки флуоресцирующими химикатами.

Изображения в ультрафиолетовом диапазоне

а) Нормальное зерно

б) Зерно, зараженное головней



Свет и электромагнитный спектр

Различаемый зрением человека цвет предмета, определяется характером света *отраженного* от этих предметов.

- Например, зеленые предметы отражают свет с длинами волн преимущественно в диапазоне от 500 до 570 нм, поглощая при этом большую часть энергии на других длинах волн.
- Предмет, который отражает свет приблизительно одинаково во всем видимом диапазоне, представляется наблюдателю белым.

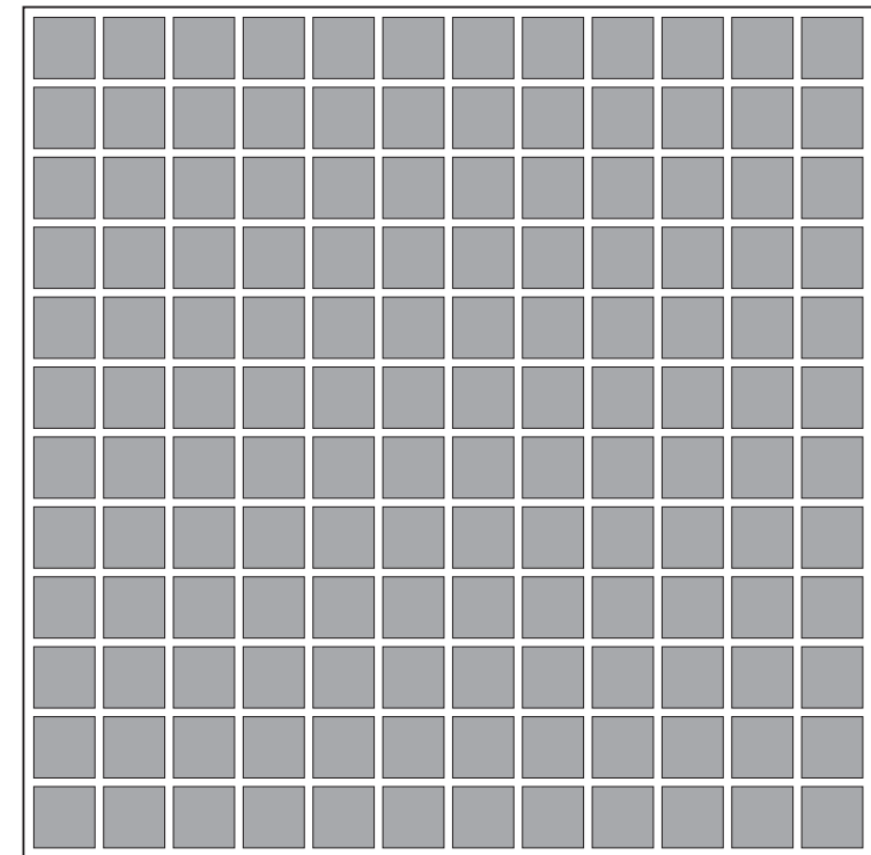
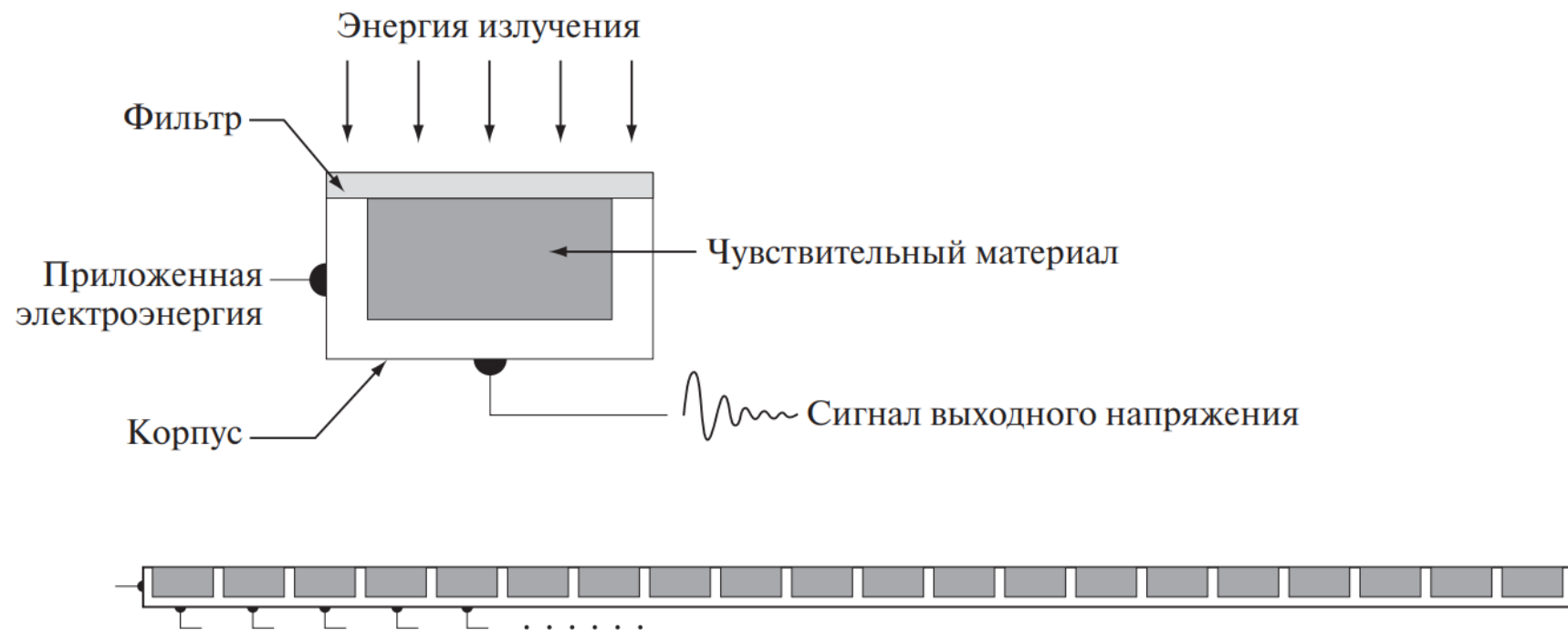
Свет и электромагнитный спектр

- Свет, лишенный цветовой окраски, называется **монохроматическим**. Единственным параметром такого света является **интенсивность**, или **яркость**. Яркость «измеряется» в *градациях серого*, поскольку она изменяется от черного до белого, с промежуточными оттенками серого.



- Диапазон хроматического света: 0,43 мкм – 0,79 мкм.

Регистрация изображения



Одиночный сенсор (чувствительный элемент)

Матрица чувствительных элементов

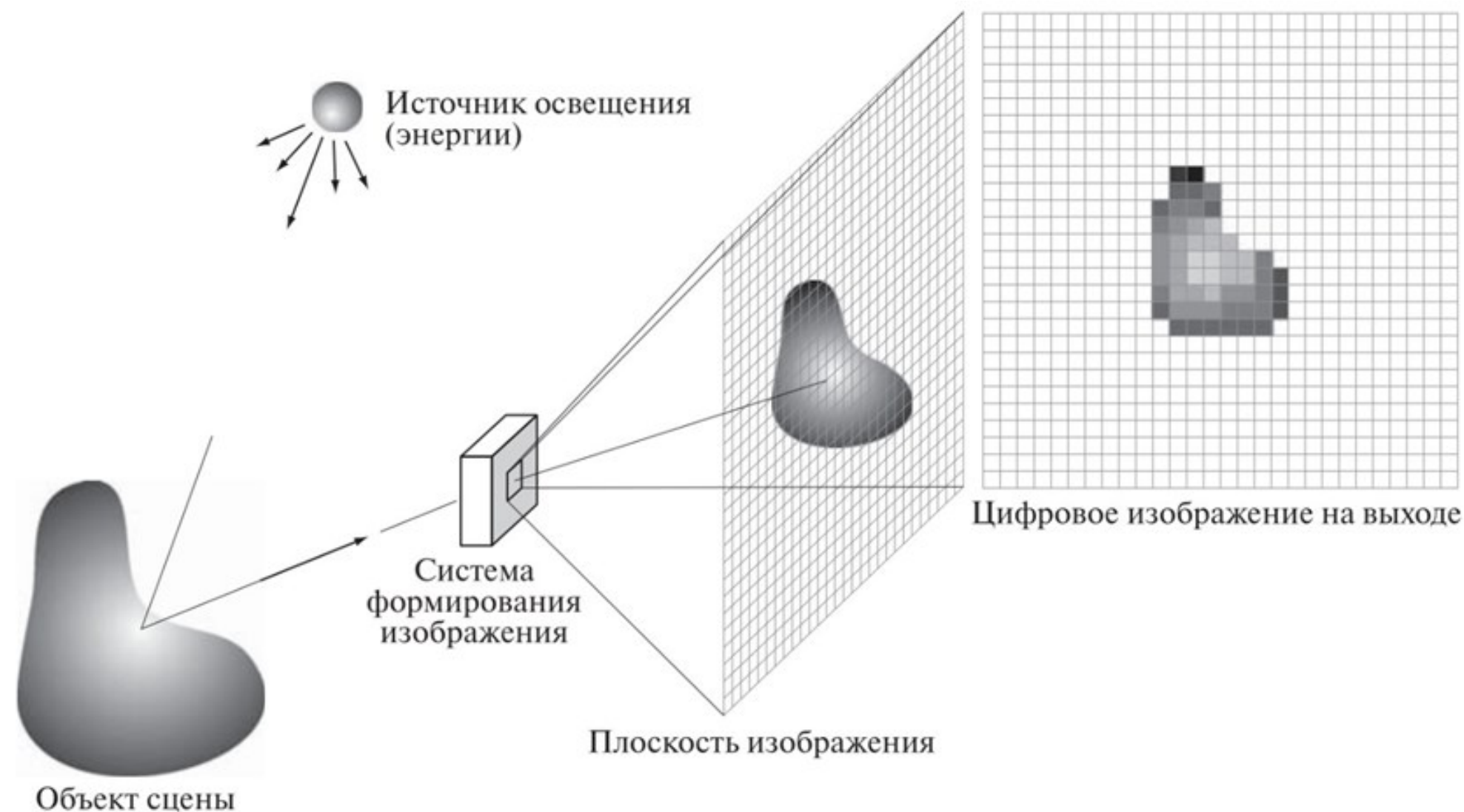
- Сенсор – фотодиод, напряжение сигнала которого пропорционально освещённости.
- Если нужно ограничить длину волны перед сенсором устанавливают стеклянный фильтр.

Процесс получения изображения

Изображение – это проекция 3D сцены на 2D плоскость.

Цифровое изображение состоит из элементов – **пикселей** (*pixel* – от англ. *picture element*).

Пиксель – неделимый объект прямоугольной формы определённого цвета.



Простая модель формирования изображения

$$f(x, y) = i(x, y) \cdot r(x, y),$$

$f(x, y)$ – интенсивность в точке x, y ;

$i(x, y)$ – освещенность в точке x, y (величина светового потока, который падает на сцену от источника);

$r(x, y)$ – коэффициент отражения/поглощения в точке x, y (относительная доля светового потока, отраженная/поглощенная объектом сцены).

Выполняются соотношения:

$$0 < f(x, y) < \infty,$$

$$0 < i(x, y) < \infty,$$

$$0 < r(x, y) < 1.$$

Пример

В ясный день солнце создает на земной поверхности освещенность 90 000 лм/м², в лунную ночь освещенность – 0,1 лм/м². Коэффициент отражения черного бархата – 0,01, для снега – 0,93.

Диапазон яркостей

➤ Значение интенсивности черно-белого изображения в произвольной точке (x_0, y_0) называется **уровнем серого** (ℓ) или **яркостью** изображения:

$$\ell = f(x_0, y_0).$$

➤ Яркость лежит в некотором интервале:

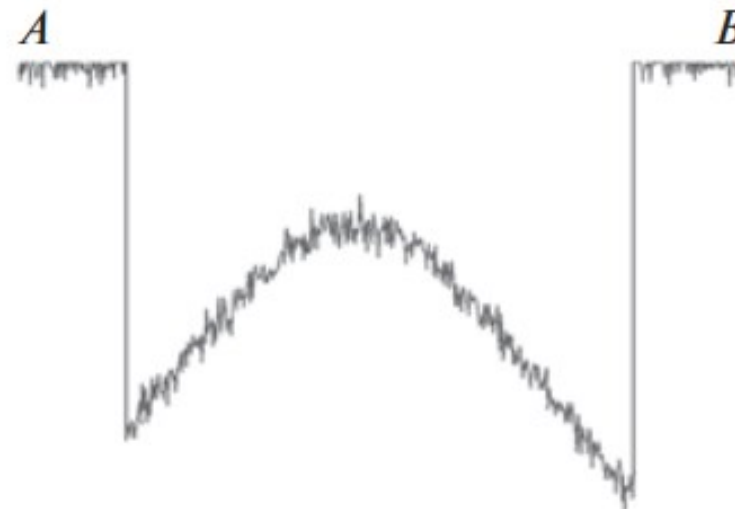
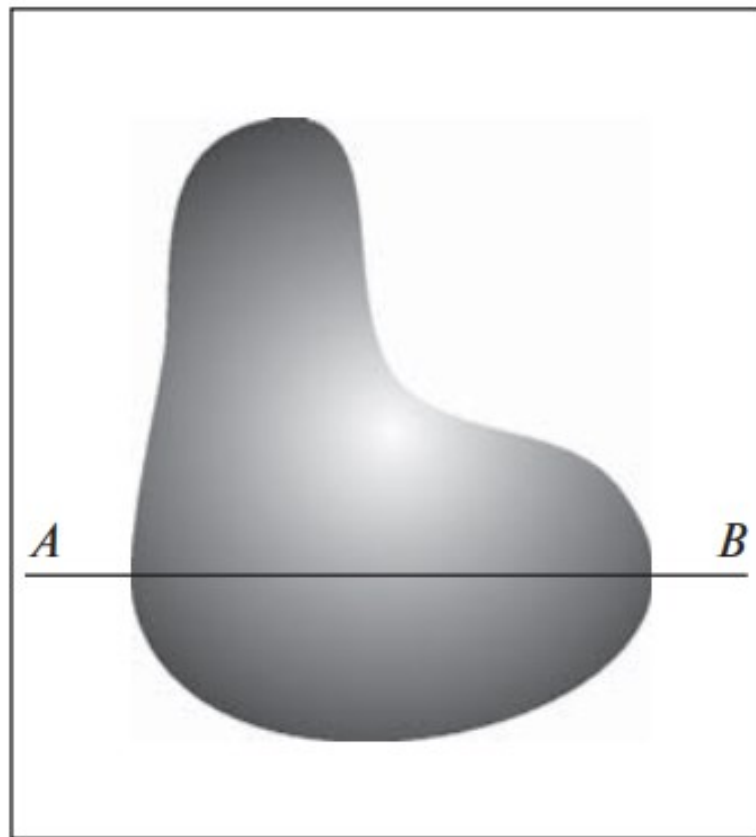
$$L_{\min} \leq \ell \leq L_{\max}.$$

L_{\min} – должно быть положительным, L_{\max} – конечно.

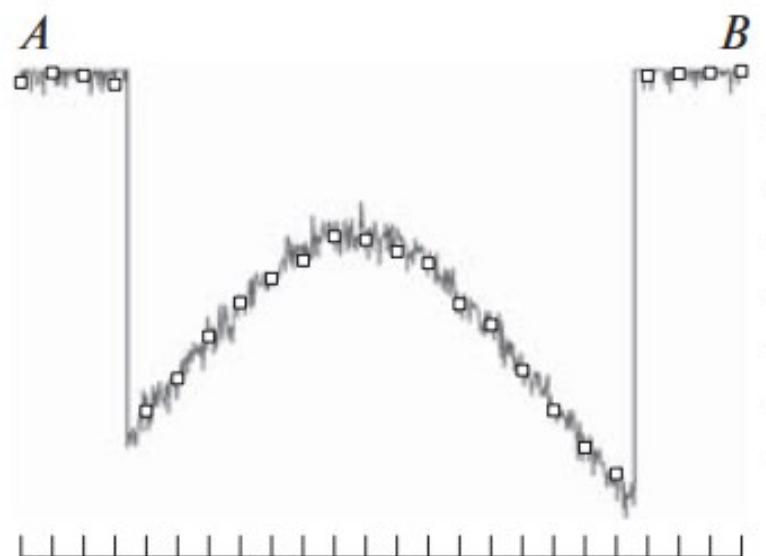
➤ Интервал $[L_{\min}, L_{\max}]$ называется **диапазоном яркостей**.

Типичные пределы для изображений в помещениях $[10, 1000]$ лм/м². На практике диапазон обычно сдвигают по числовой оси, получая интервал $[0, L - 1]$, причем $\ell = 0$ – это уровень черного, а уровень белого $\ell = L - 1$. Все промежуточные значения – оттенки серого.

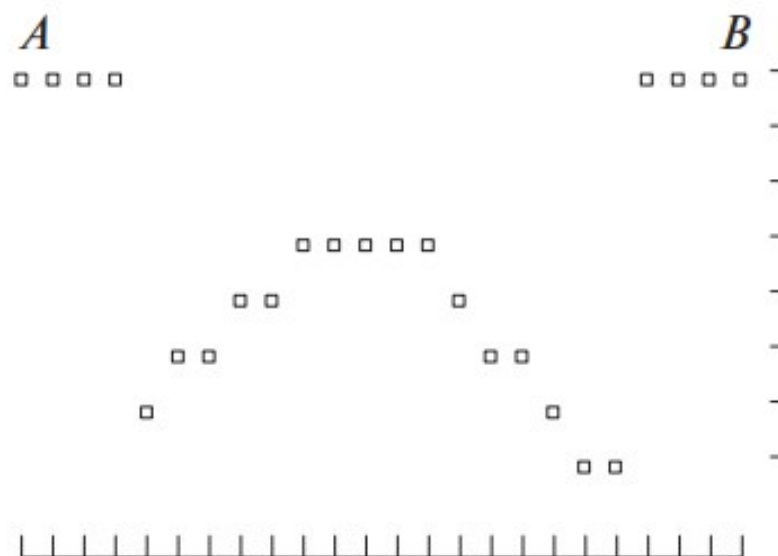
Дискретизация и квантование изображения



Чтобы получить цифровое изображение на основе данных, воспринимаемых чувствительными элементами необходимо **выполнить дискретизацию и квантование.**

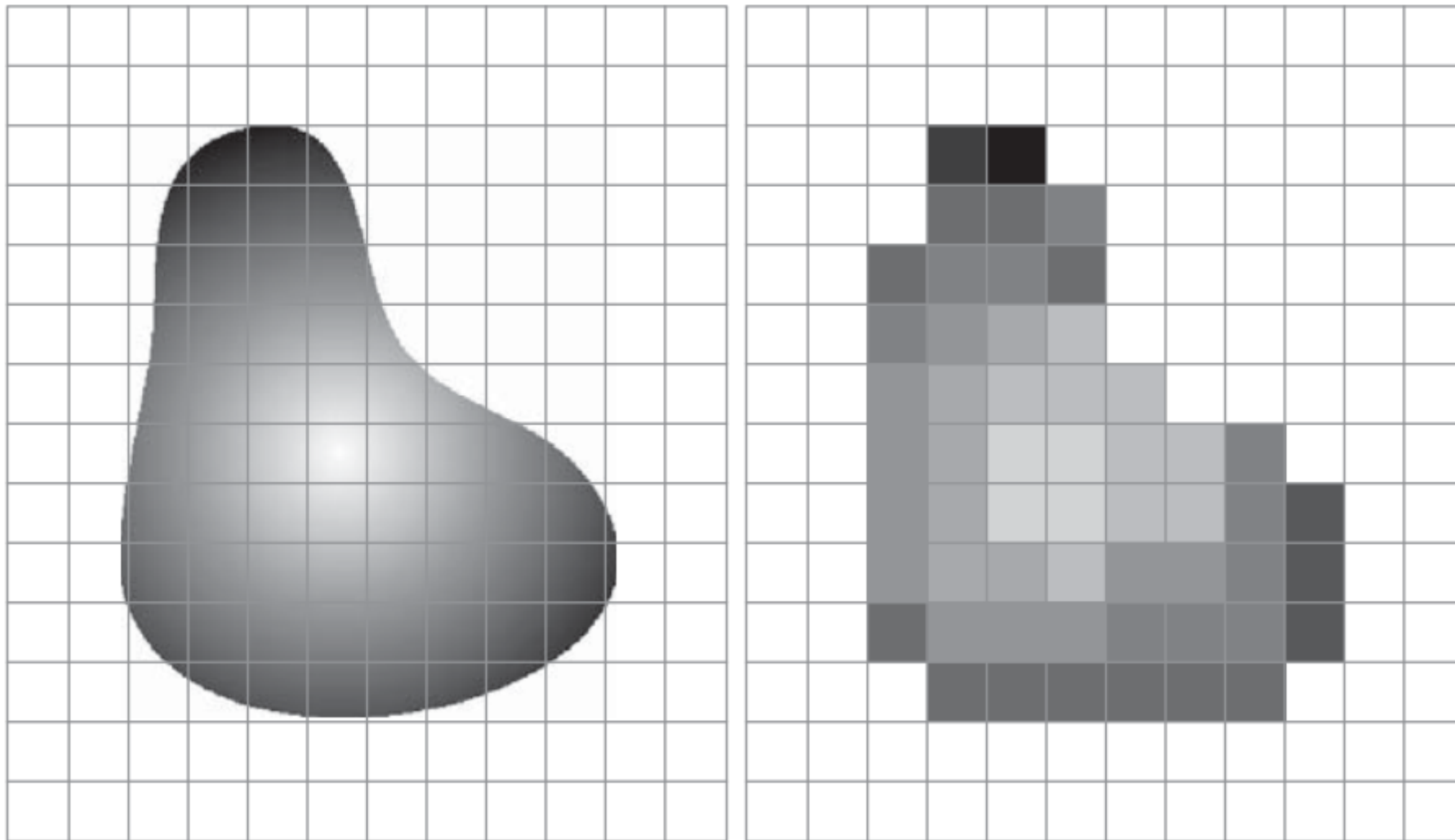


Дискретизация



Дискретизация и квантование изображения

Результат дискретизации и квантования



Проекция непрерывного изображения на матрицу чувствительных элементов.

Качество получаемого представления зависит от числа сенсоров в матрице, а также от числа уровней квантования (глубины цвета).

Представление цифрового изображения

➤ В результате дискретизации и квантования возникает матрица действительных чисел размера $M \times N$.

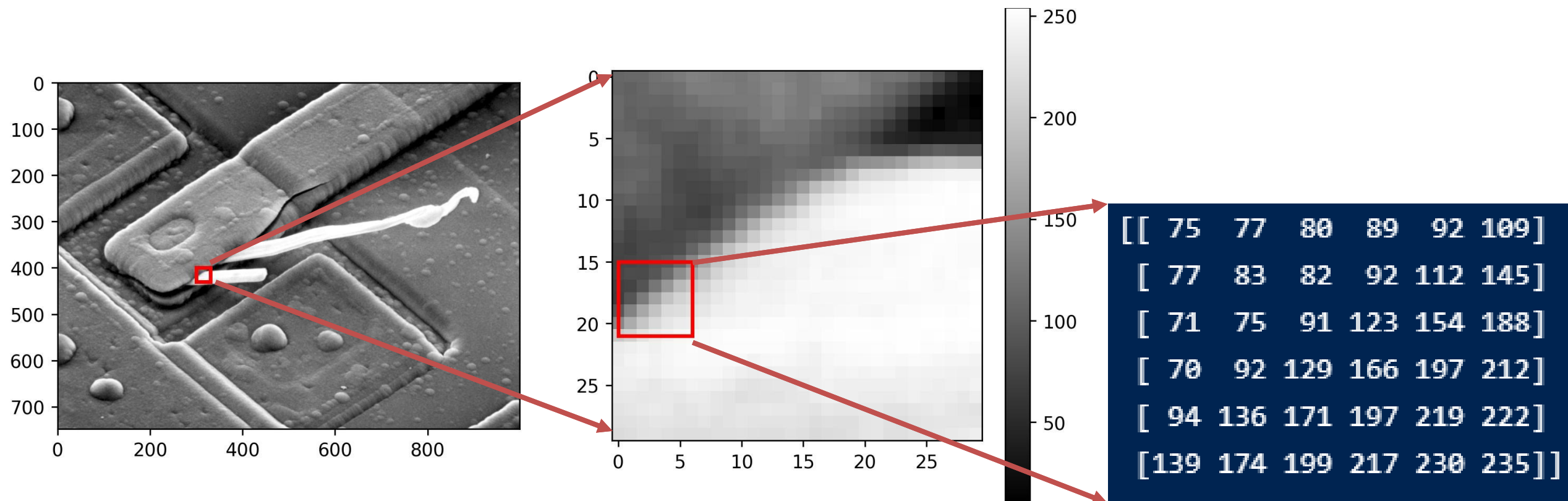
$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0, N - 1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1, N - 1) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f(M - 1,0) & f(M - 1,1) & \dots & f(M - 1, N - 1) \end{bmatrix}.$$

➤ Иногда полезно использовать традиционную матричную запись:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_{0,0} & a_{0,1} & \dots & a_{0,N-1} \\ a_{1,0} & a_{1,1} & \dots & a_{1,N-1} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{M-1,0} & a_{M-1,1} & \dots & a_{M-1,N-1} \end{bmatrix}.$$

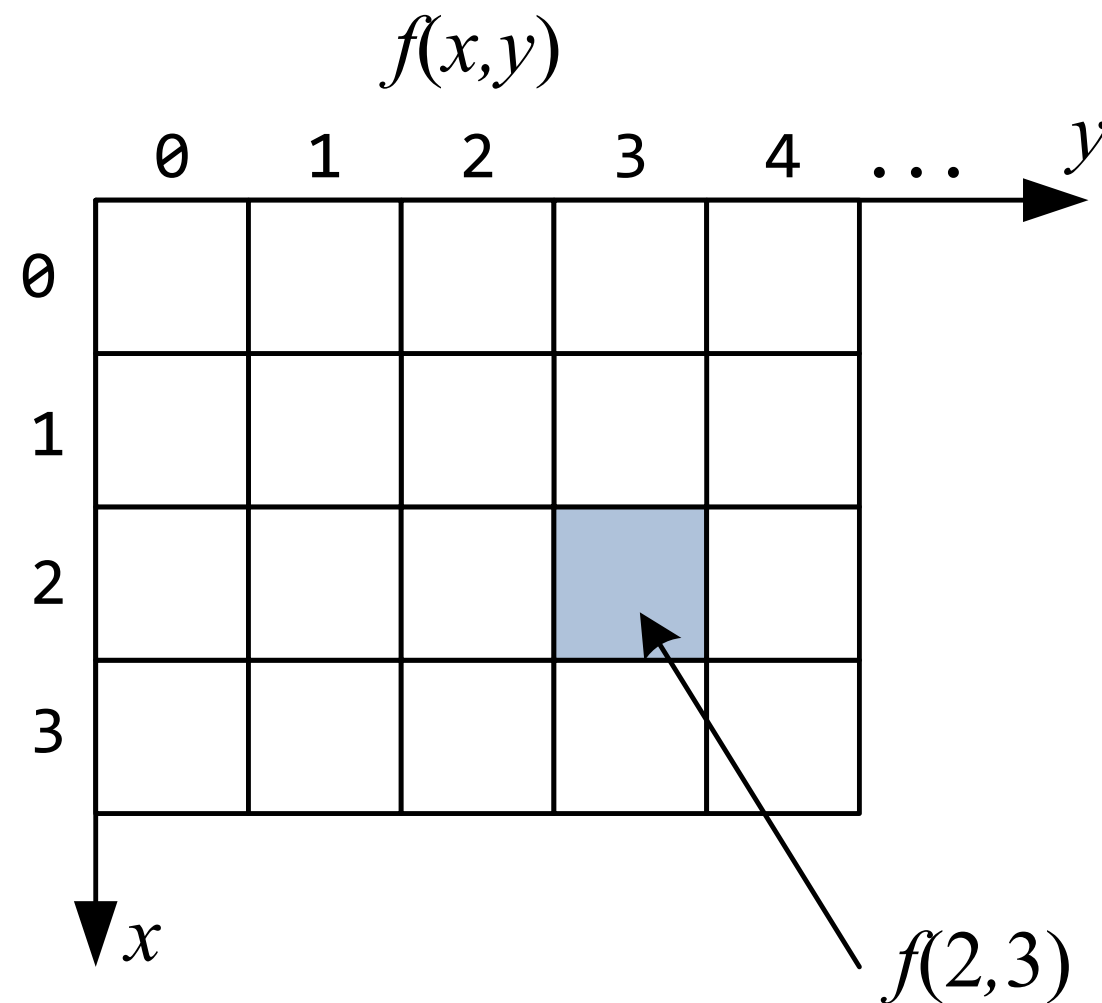
Что такое цифровое изображение?

Изображение – двумерная функция $f(x, y)$, где x и y — пространственные координаты, а значение f в точке (x, y) , называется **интенсивностью (яркостью)** изображения в этой точке. Если величины x, y и f принимают конечное число дискретных значений, то говорят о **цифровом изображении**.



Координатное соглашение

В литературе по обработке изображений за начало координат принимают верхний левый угол изображения с координатами $(0,0)$. Следующая точка в первой строке изображения имеет координаты $(x, y) = (0,1)$.



Представление цифрового изображения

При выполнении дискретизации число уровней яркости L выбирают равным:

$$L = 2^k.$$

Диапазон $[0, L - 1]$ называют **динамическим диапазоном** изображения.

Для разработки алгоритмов часто бывает полезно отобразить динамический диапазон на интервал $[0, 1]$, так, что значения яркостей перестают быть целочисленными. Однако, при сохранении изображений значения масштабируются обратно на интервал целых значения $[0, L - 1]$.

Динамический диапазон

Число уровней яркости $L = 256$



Число уровней яркости $L = 4$



Число уровней яркости $L = 2$



Глубина цвета

Глубина цвета определяется количеством различных значений, которое может принимать пиксель. Выбор глубины цвета зависит от специфики задачи и типа изображений. Наиболее распространены следующие случаи:

➤ **бинарное изображение**

- 2 уровня яркости (черный и белый)

➤ **полутонное изображение**

- 256 уровней яркости (1 байт на пиксель)
- 65 536 уровней яркости (2 байта на пиксель)

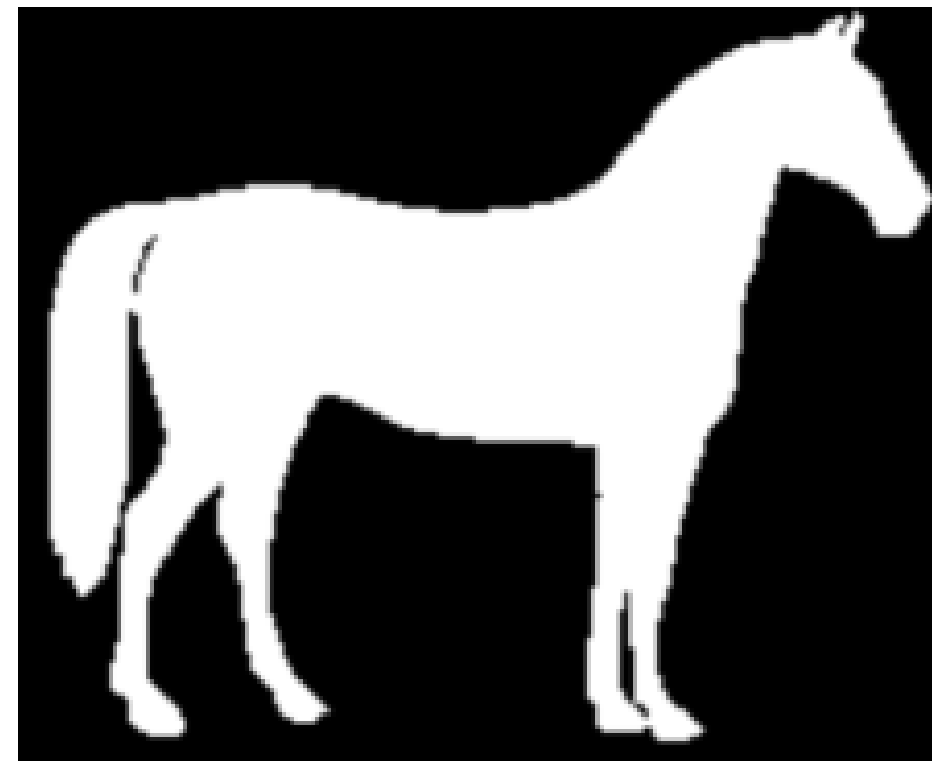
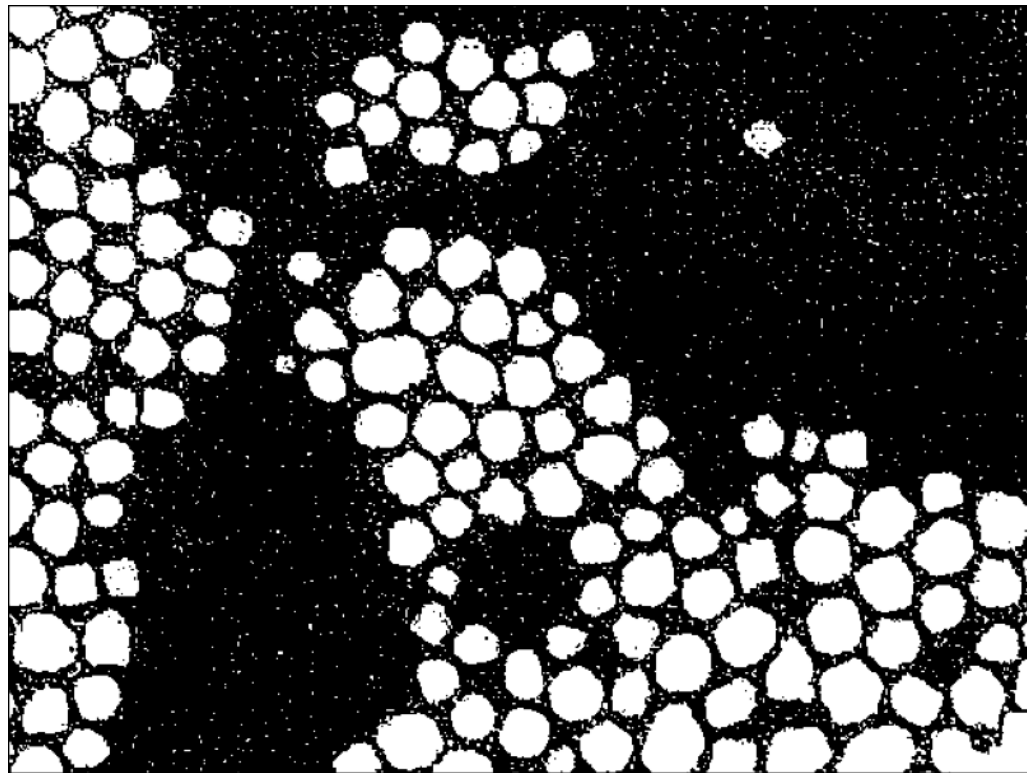
➤ **цветное изображение**

- 16,7 млн цветов (3 байта на пиксель – красный, синий, зеленый)
- 4,3 млрд цветов (4 байта на пиксель – голубой, сиреневый, желтый, черный)

Классификация изображений по глубине цвета

1. Бинарные (двухуровневые) изображения

Все пиксели могут иметь только черный (0) или белый цвет (1).



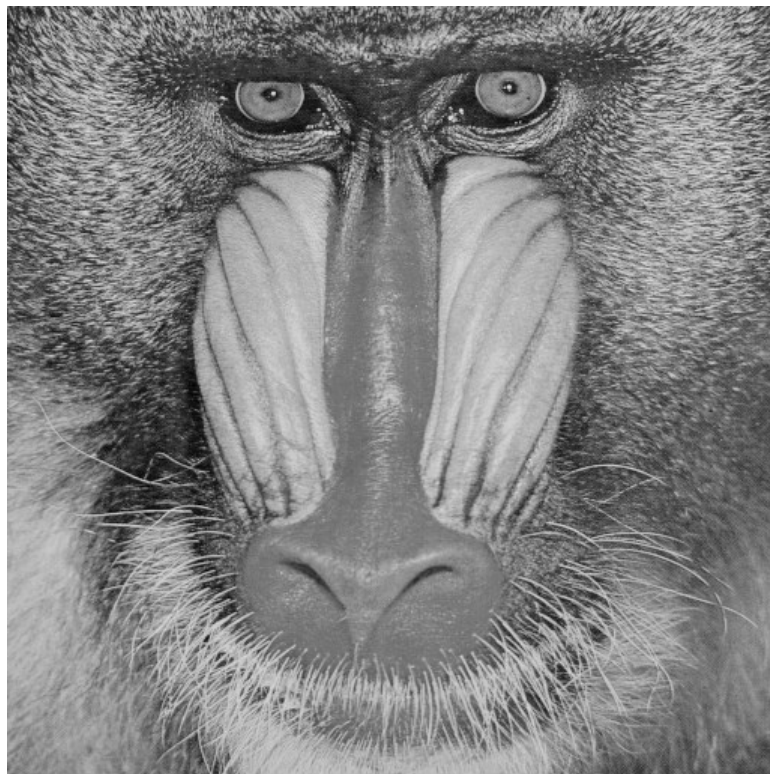
В принципе каждый пиксел такого изображения можно задать 1 битом. Бинарные изображения также называют логическими.

Классификация изображений по глубине цвета

2. Полутоновые изображения

Каждый пиксел изображения может иметь 2^n значений от 0 до $2^n - 1$, обозначающих одну из 2^n градаций серого (или иного) цвета.

Число n обычно сравнимо с размером байта (4, 8, 12, 16 или 24 бита).



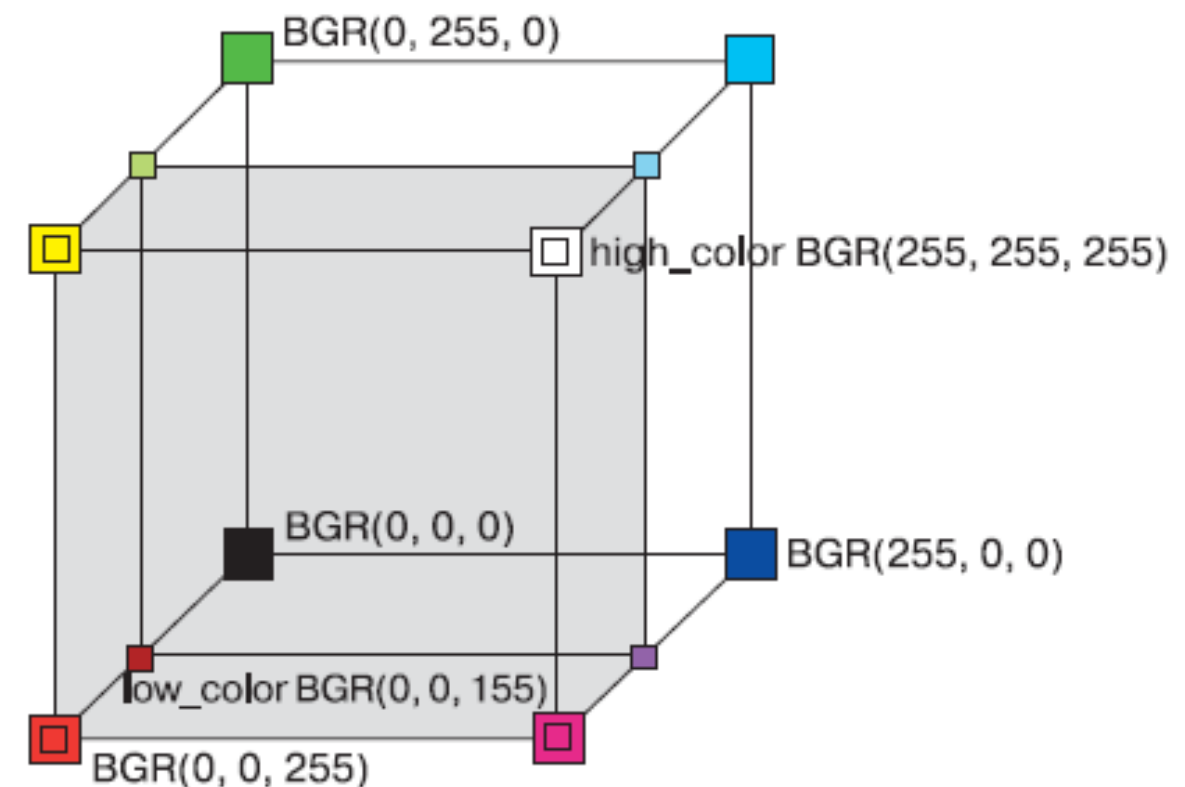
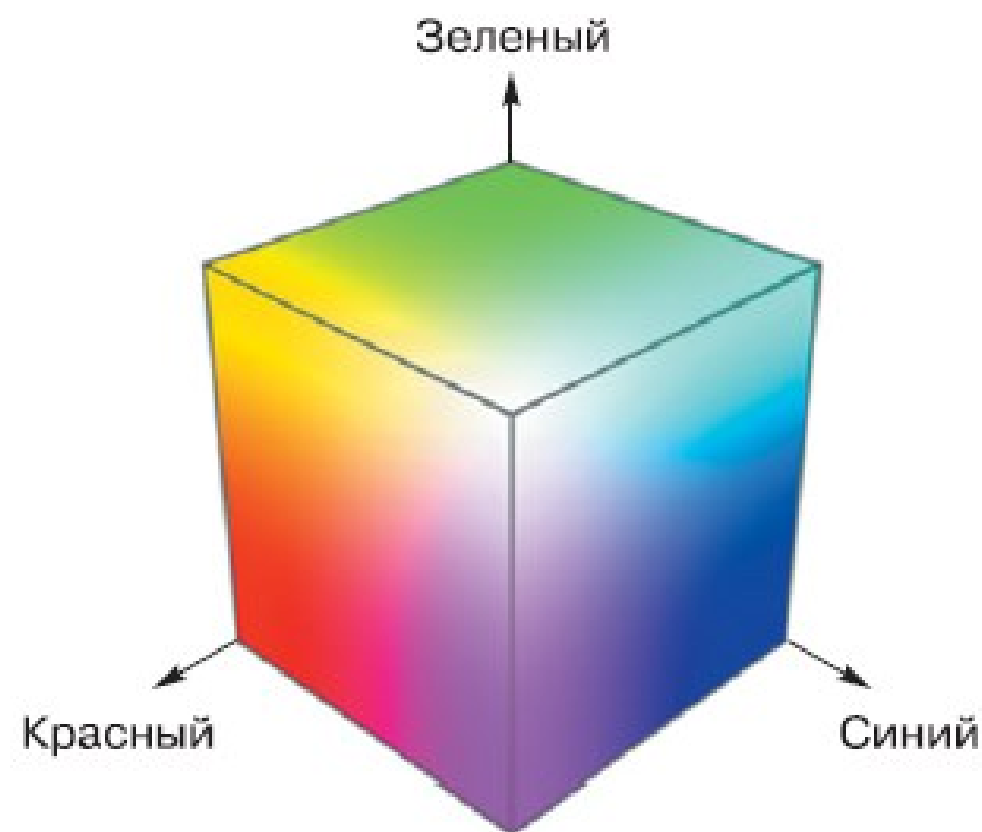
Чаще всего используется $n = 8$, т.е. $L = 2^8 = 256$ уровней.

Реже используется $n = 16$, т.е. $L = 2^{16} = 65536$ уровней (например для рентгеновских снимков).

Классификация изображений по глубине цвета

3. Полноцветные (цветные) изображения

Каждый пиксел изображения задается тремя параметрами. Типичные цветовые модели: RGB, HLS, CMYK.

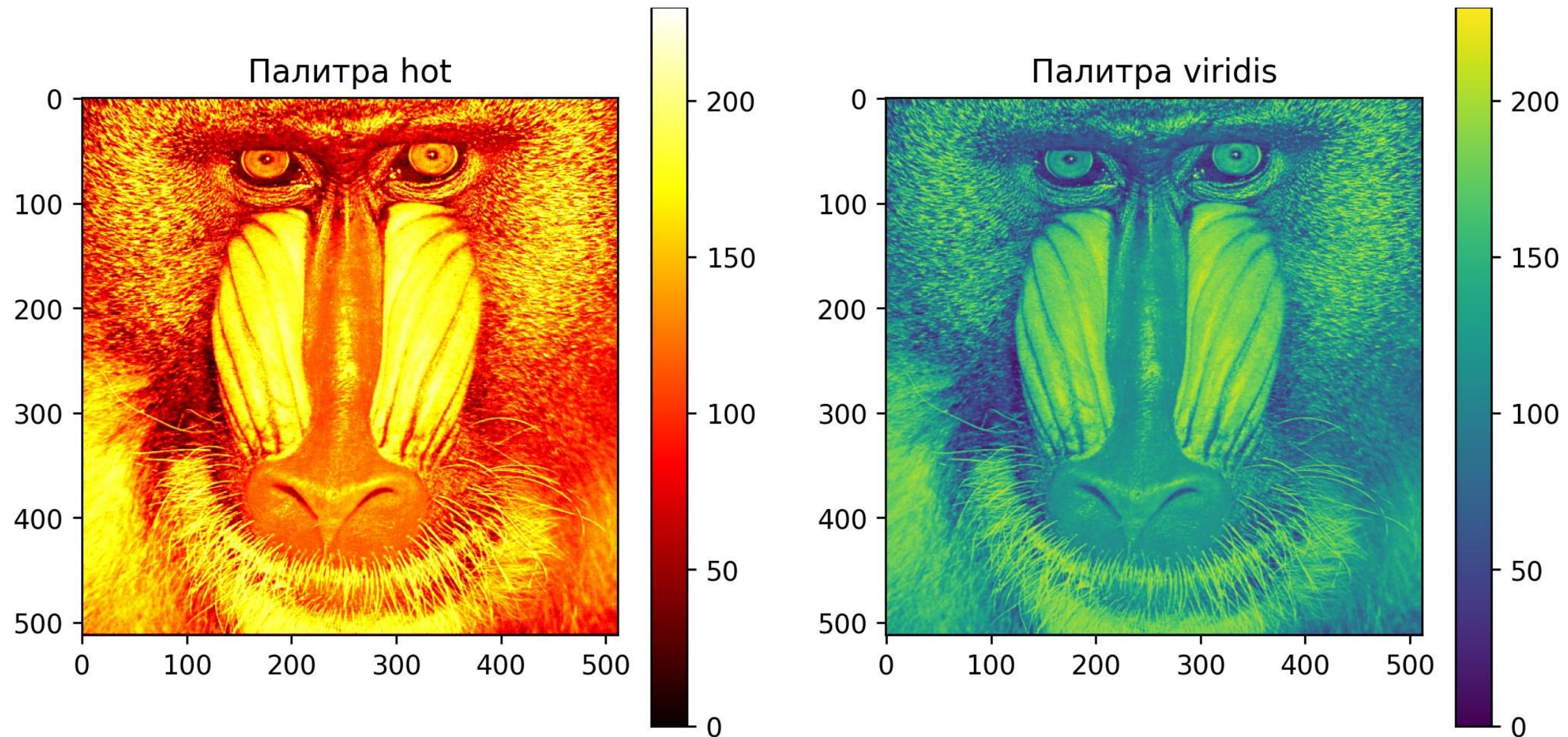


Трехкомпонентную теорию цветового зрения впервые описал в 1756 г. М. В. Ломоносов. Сто лет спустя ее развил немецкий ученый Г. Гельмгольц, но он не упомянул работу Ломоносова «О происхождении света», хотя она была опубликована на немецком языке.

Классификация изображений по глубине цвета

4. Палитровые (индексированные) изображения

Значение пикселя, т. е. индекс, фактически является ссылкой на ячейку палитры, которая представляет собой таблицу RGB компонентов для этого индекса.

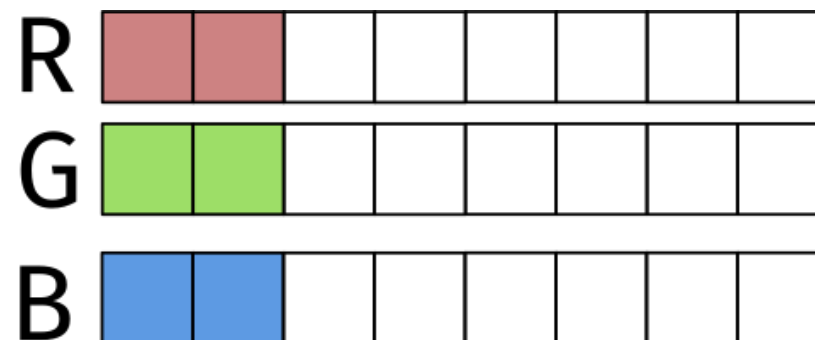


Глубина цвета: пример

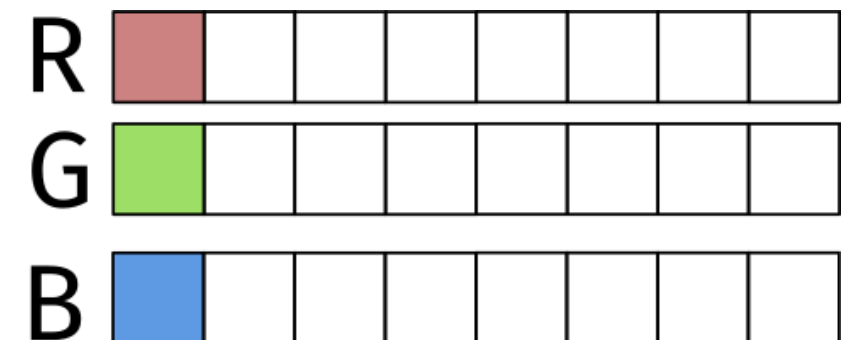
Глубина цвета 24 бит
(цветов $L = 16777216$)



Глубина цвета 6 бит
(цветов $L = 64$)



Глубина цвета 3 бит
(цветов $L = 8$)



Размер изображения

Общее количество битов b , необходимое для хранения цифрового изображения размером M строк и N столбцов, равно

$$b = M \times N \times k,$$

где k – количество разрядов на один пиксель.

Если $M = N$, то

$$b = N^2 \times k.$$

Представление цифрового изображения

- Число бит для хранения изображений при различных N и k

N/k	5 ($L=32$)	6 ($L=64$)	7 ($L=128$)	8 ($L=256$)
32	5.120	6.144	7.168	8.192
64	20.480	24.576	28.672	32.768
128	81.920	98.304	114.688	131.072
256	327.680	393.216	458.752	524.288
512	1.310.720	1.572.864	1.835.008	2.097.152
1024	5.242.880	6.291.456	7.340.032	8.388.608
2048	20.971.520	25.165.824	29.369.128	33.554.432
4096	83.886.080	100.663.296	117.440.512	134.217.728
8192	335.544.320	402.653.184	469.762.048	536.870.912

- Например, для изображения 1024×1024 (8 бит на пиксель) требуется 8 Мбит или 1 Мбайт памяти.

Пространственное и яркостное разрешение

Пространственное разрешение – это размер мельчайших деталей на изображении, измеряется в числе пикселей на единицу длины (*dots (pixels) per inch (dpi)*).

Яркостное разрешение – мельчайшее различимое изменение яркости. Измеряется в числе битов, используемых для кодирования уровней яркости (8 бит, 12 бит, 16 бит и т.д.).

Пространственное разрешение: пример

Размер 512 × 512



Размер 256 × 256



Размер 128 × 128



Размер 64 × 64



Данные показывают пропорциональные изменения размеров при уменьшении пространственного разрешения (частоты дискретизации), однако это затрудняет наблюдение эффектов, вызванных уменьшением пространственного разрешения.

Пространственное разрешение: пример

Размер 256 × 256



Размер 128 × 128



Размер 64 × 64



Размер 32 × 32



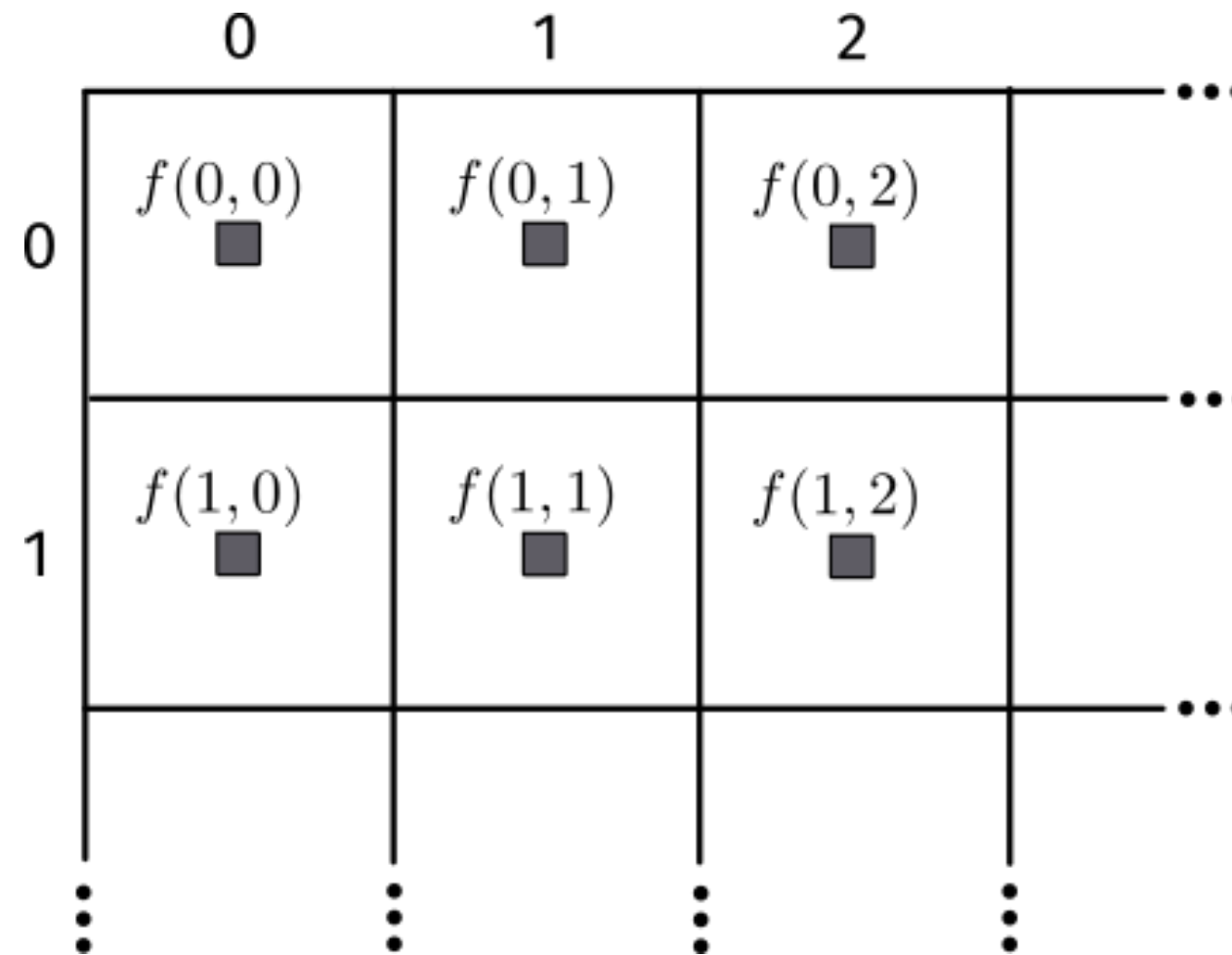
По мере уменьшения пространственного разрешения в изображениях начинает появляться ступенчатость и зернистость. Происходит потеря детализации.

Интерполяция цифровых изображений

- **Интерполяция** – процесс использования данных для оценки неизвестных значений. Интерполяция используется при увеличении (*zooming*), поворотах, геометрической коррекции изображений.
- Интерполяцию также называют **ресемплингом** (*resampling*), поскольку она представляет собой метод, который позволяет увеличить (или уменьшить) число пикселей в цифровом изображении.

*Некоторые цифровые камеры используют интерполяцию для получения изображения с разрешением выше, чем размер фоточувствительной матрицы (*digital zoom*).*

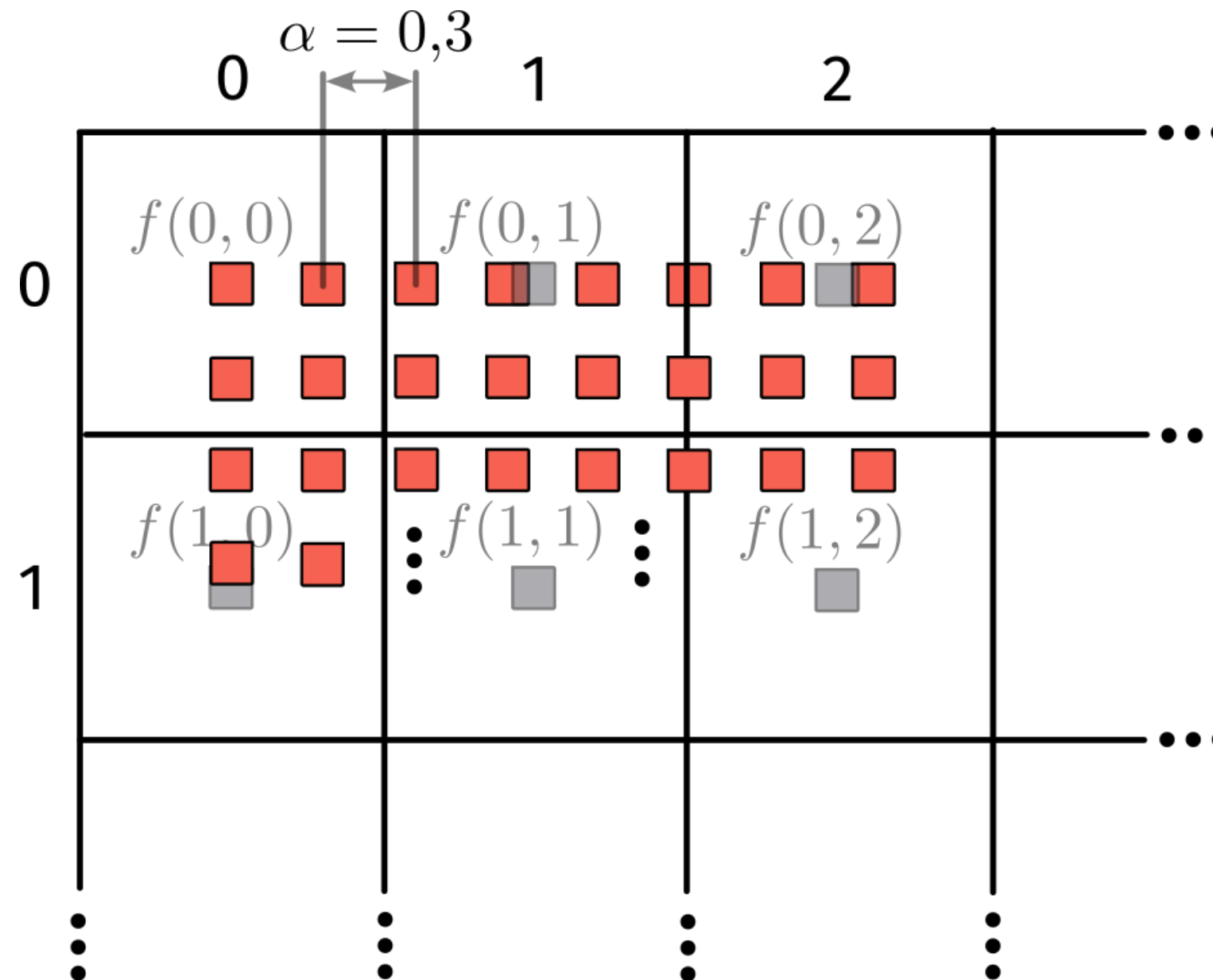
Интерполяция изображений



Изначально изображение задано, как двумерная функция целочисленного аргумента.

Допустим необходимо выполнить интерполяцию изображения с шагом α . Если $0 < \alpha < 1$, то мы получим увеличения изображения, если $\alpha > 1$, то изображения получится меньшего размера.

Интерполяция изображений



Показана новая координатная сетка с шагом $\alpha = 0,3$.

При выполнении интерполяции необходимо определить значение интенсивности изображения в новой сетке координат.

Интерполяция изображений

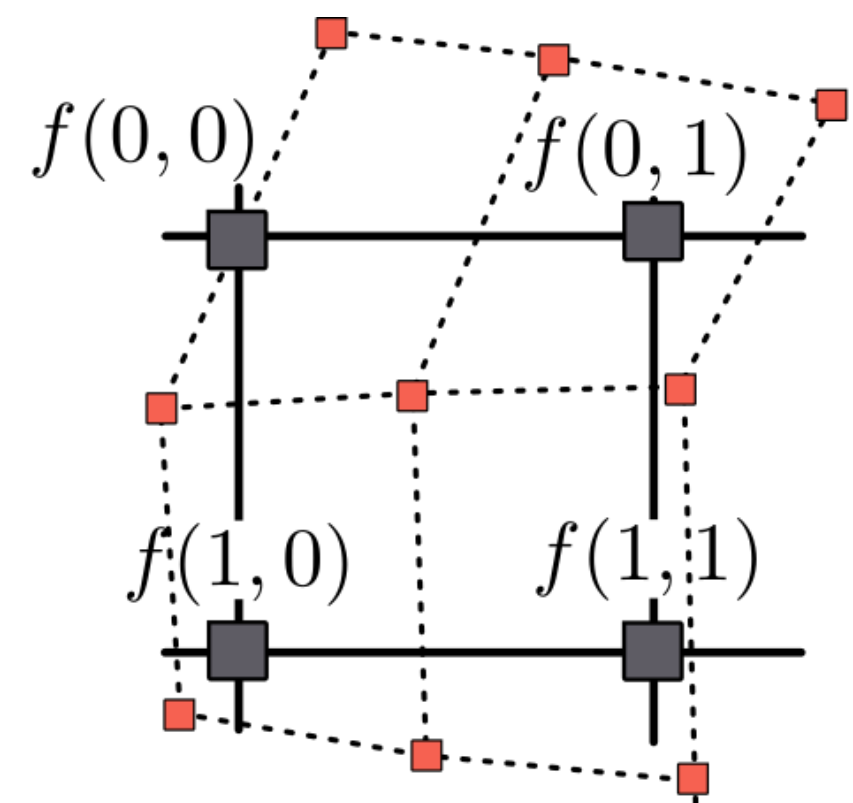
Процесс интерполяции разбивается на два этапа:

1) Формирование новой координатной сетки \mathbf{n} для получения нового изображения:

$$g(\mathbf{n}) = f(\mathbf{n}') = f[\mathbf{a}(\mathbf{n})],$$

где координаты $\mathbf{a}(\mathbf{n}) = [a_1(n_1, n_2), a_2(n_1, n_2)]$ обычно имеют не целые значения.

2) Вычисление (интерполяция) значений g в нецелых координатах $a_1(n_1, n_2)$, $a_2(n_1, n_2)$.

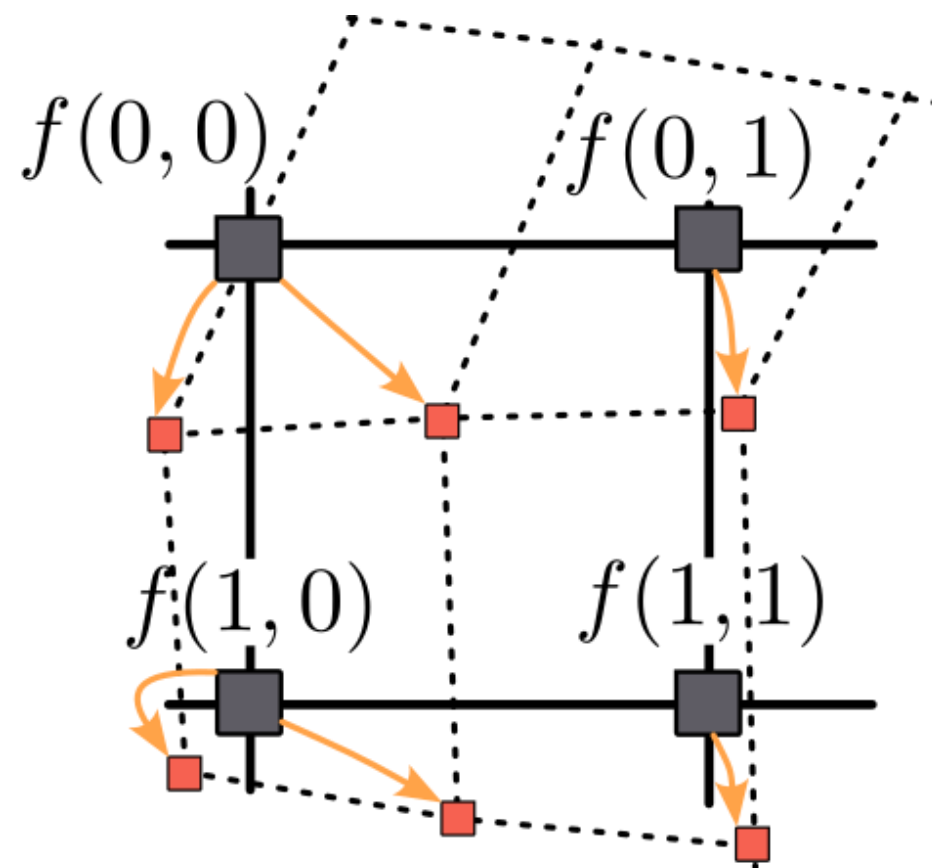


Интерполяция по ближайшему соседу

- Чтобы присвоить значение яркости любому пиксел нового изображения g , найдем ближайший к нему пиксель исходного изображения и припишем его яркость данному элементу сетки.
- Математическая интерпретация:

$$g(x, y) = f(\text{floor}\{x + 0,5\}, \text{floor}\{y + 0,5\}),$$

где $\text{floor}\{r\}$ – означает ближайшее целое число меньше, либо равное r .

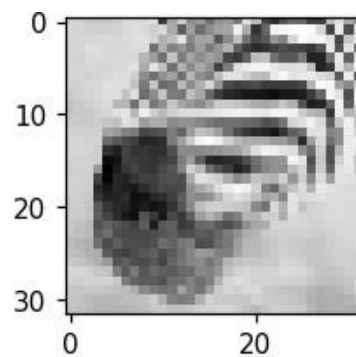


Интерполяция по ближайшему соседу: пример

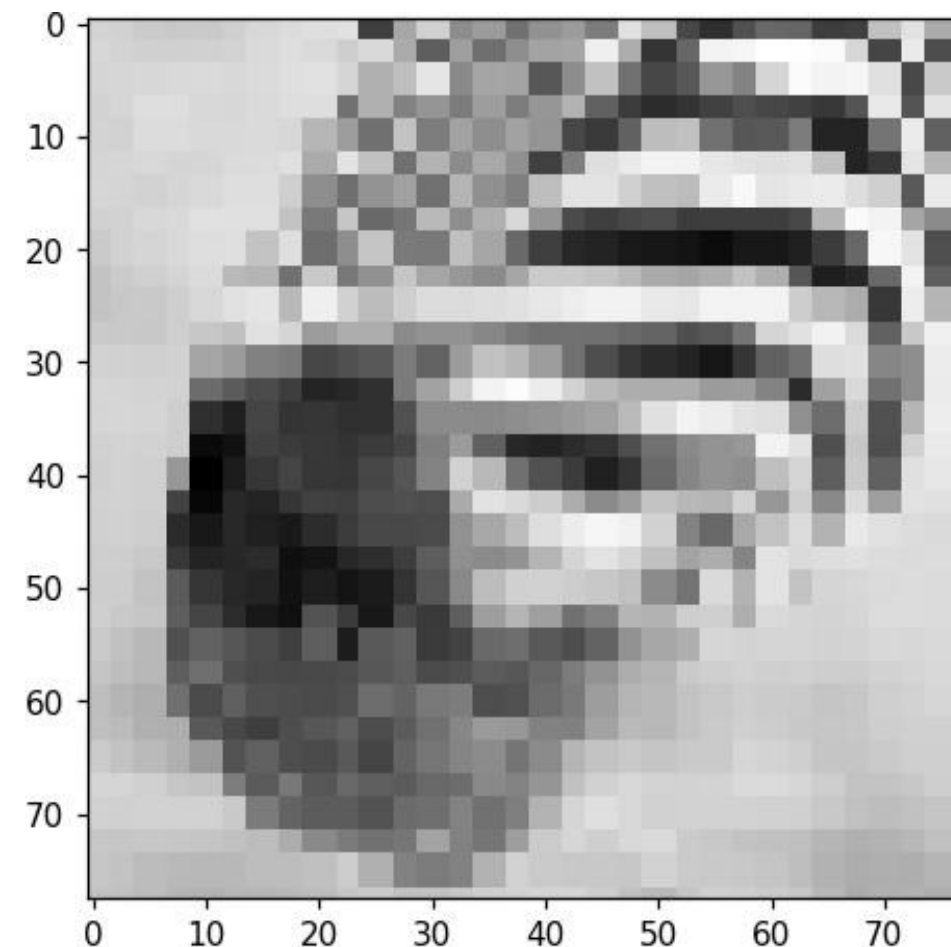
Исходный размер изображения: 32x32

Шаг новой сетки: 0,4 по оси x , 0,4 по оси y

Исходное изображение



После интерполяции



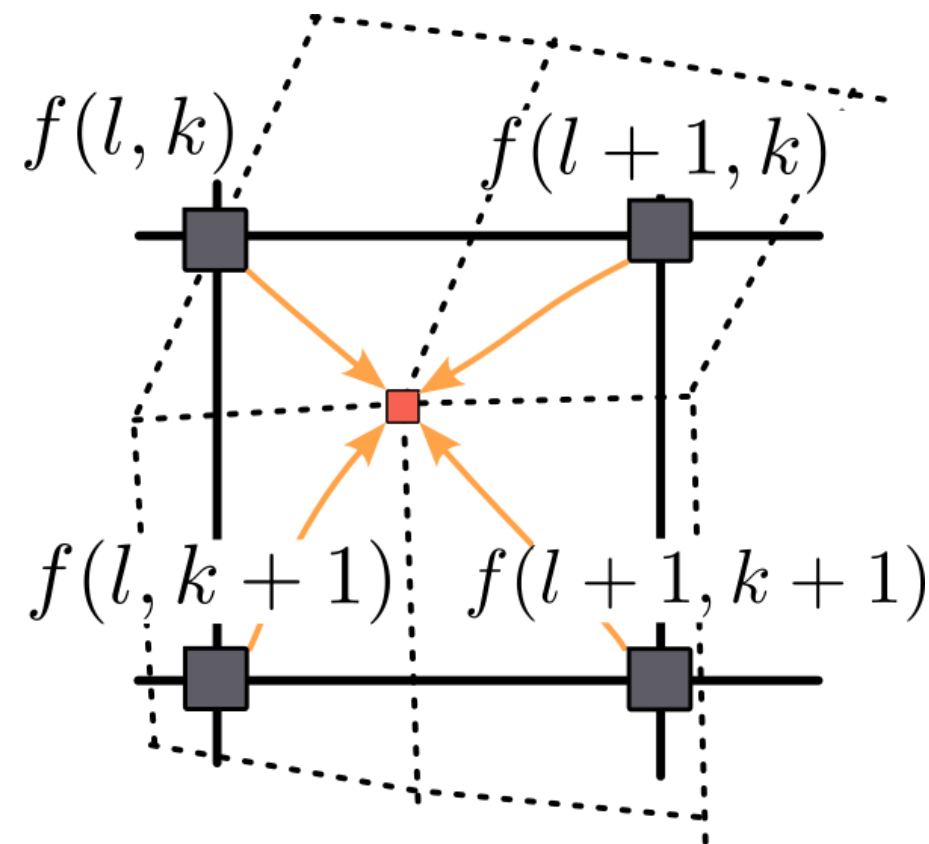
Увеличение размера в 2,5 раза.

Билинейная интерполяция

- Значение пикселя нового изображения g ищется, как линейная комбинация четырех ближайших пикселей исходного изображения.
- Математическая запись:

$$g(x, y) = (1 - a) \cdot (1 - b) \cdot f(l, k) + a \cdot (1 - b) \cdot f(l + 1, k) + (1 - a) \cdot b \cdot f(l, k + 1) + a \cdot b \cdot f(l + 1, k + 1),$$

где $l = \text{floor}(x)$, $k = \text{floor}(y)$, $a = x - l$, $b = y - k$.

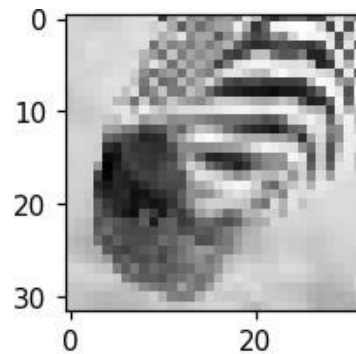


Билинейная интерполяция: пример

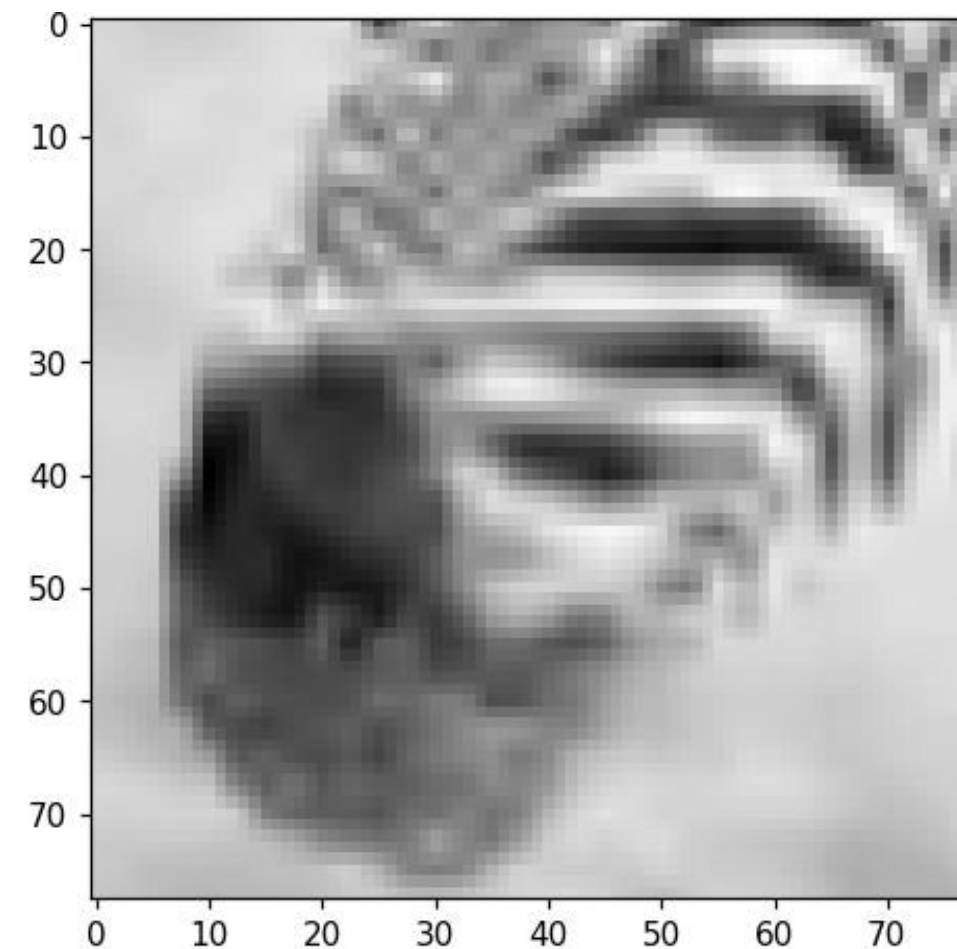
Исходный размер изображения: 32x32

Шаг новой сетки: 0,4 по оси x , 0,4 по оси y

Исходное изображение



После интерполяции



Увеличение размера в 2,5 раза.

Бикубическая интерполяция

- В отличие от билинейной интерполяции, которая учитывает только 4 пикселя (2×2), бикубическая интерполяция учитывает 16 пикселей (4×4). Изображения, передискретизированные с помощью бикубической интерполяции, могут иметь различные артефакты.
- Математическая запись:

$$g(x, y) = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 a_{ij} x^i y^j,$$

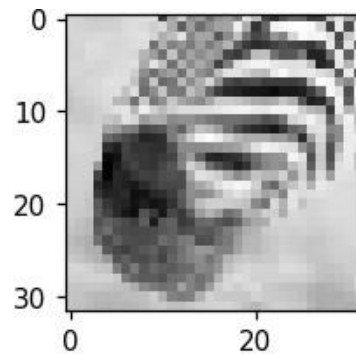
- http://en.wikipedia.org/wiki/Bicubic_interpolation

Бикубическая интерполяция: пример

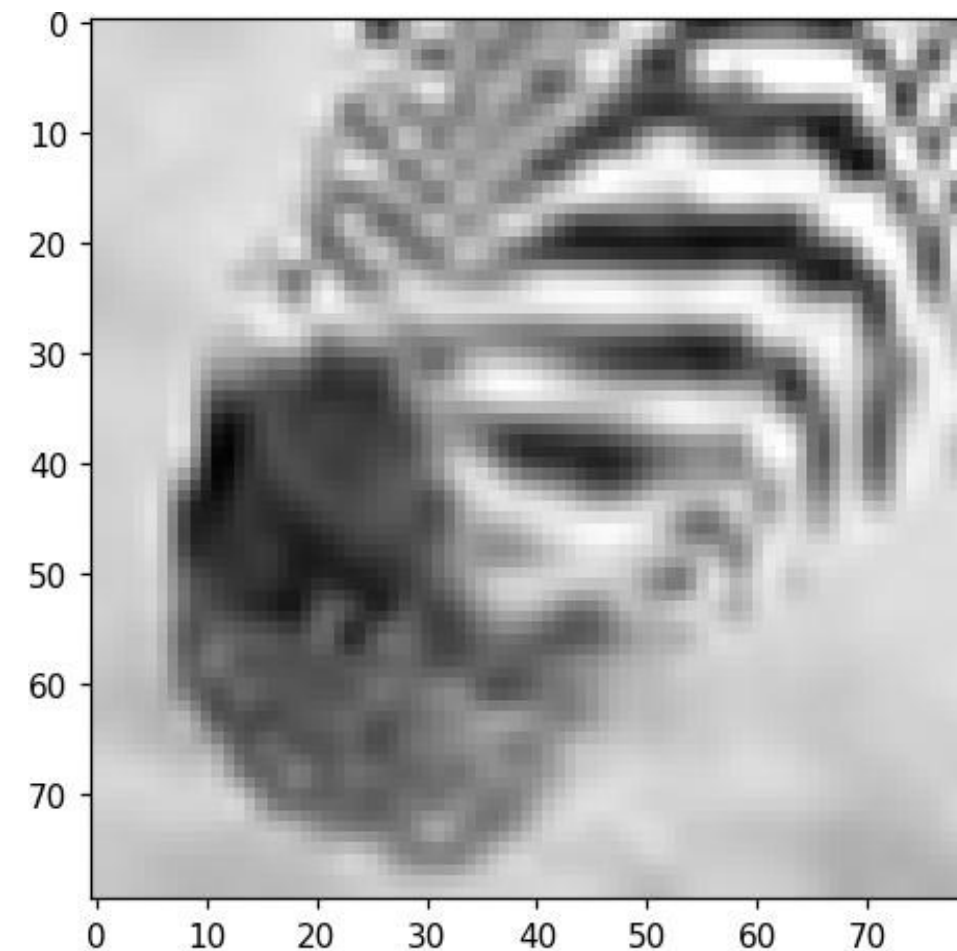
Исходный размер изображения: 32x32

Шаг новой сетки: 0,4 по оси x , 0,4 по оси y

Исходное изображение



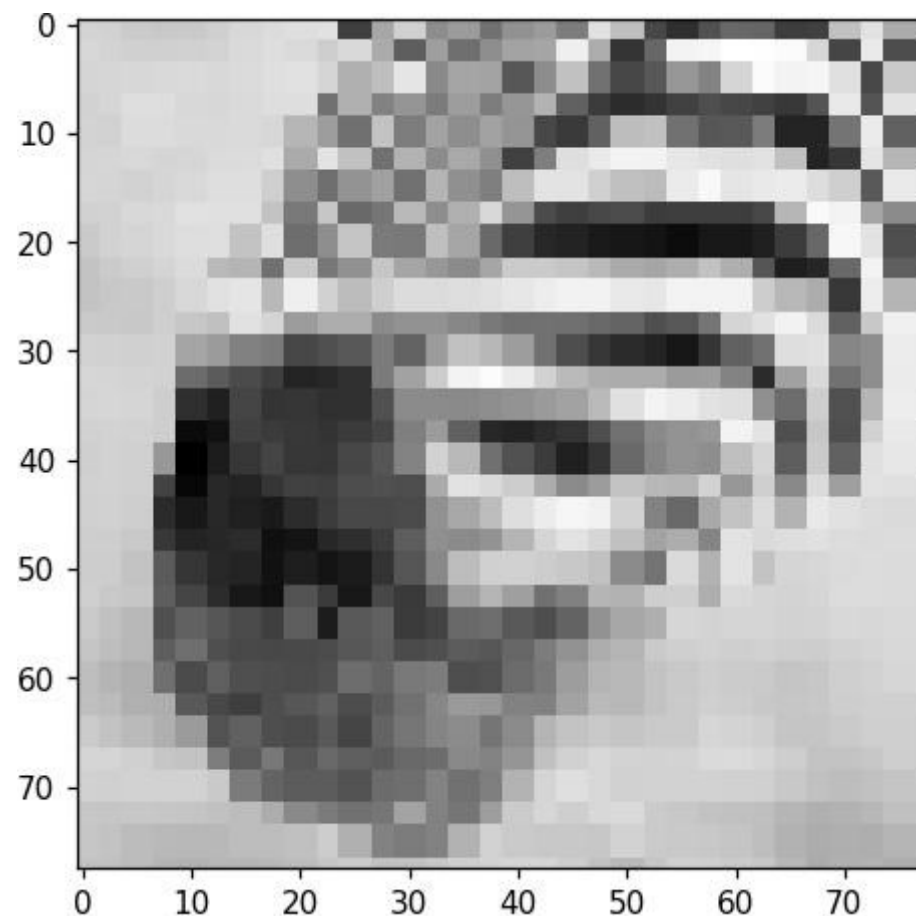
После интерполяции



Увеличение размера в 2,5 раза.

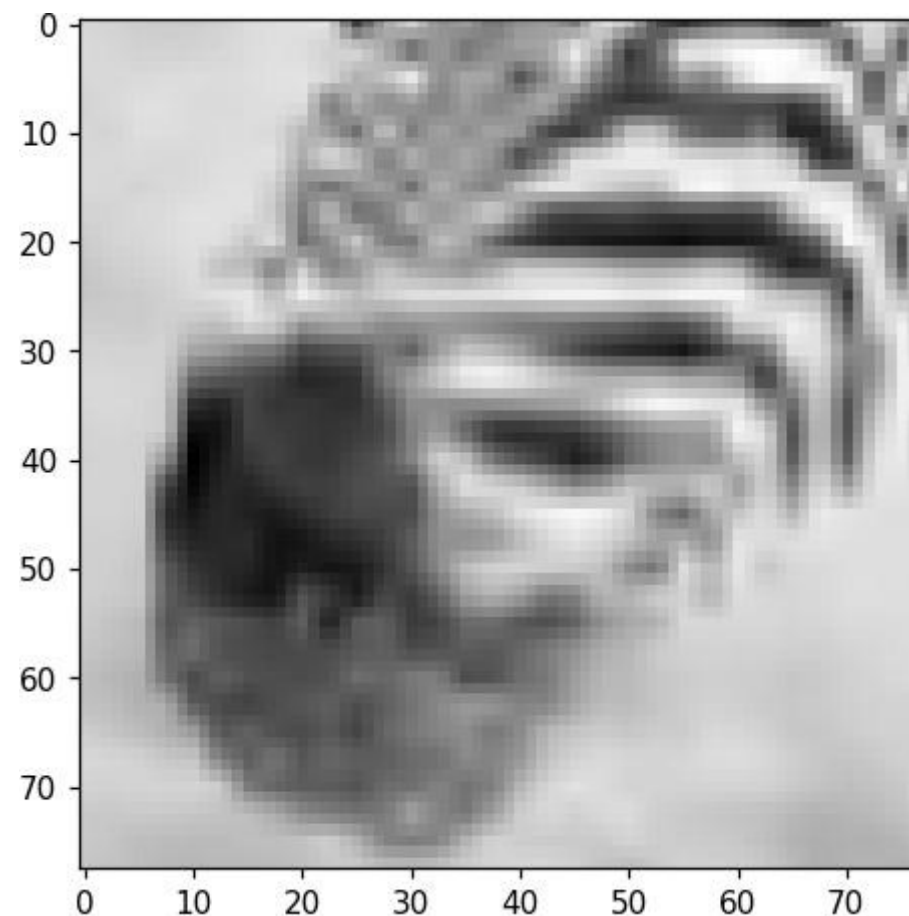
Сравнение различных методов интерполяции

Интерполяция по ближайшему соседу



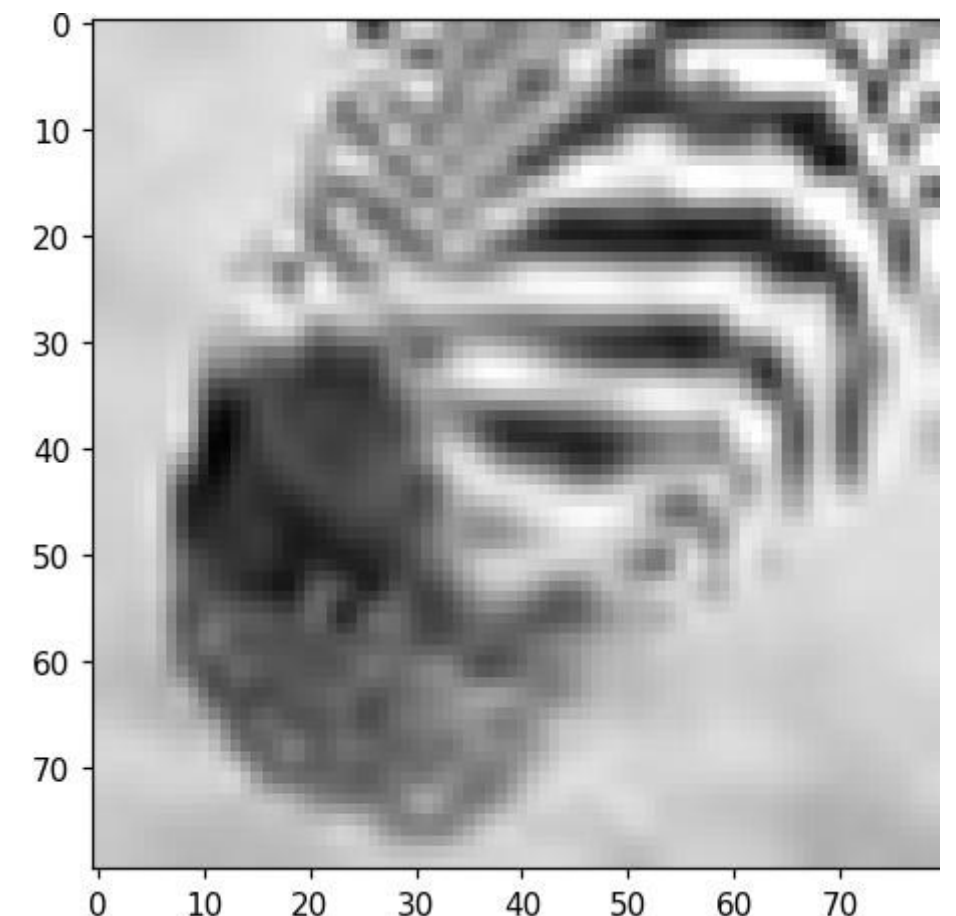
- простой и быстрый
- потеря резкости
- артефакты (шахматная доска)

Билинейная интерполяция



- умеренная сложность
- размытость изображения

Бикубическая интерполяция



- высокая сложность
- сохранение резкости и деталей
- медленный

Литература

- [1] Гонсалес, Р., Вудс, Р. *Цифровая обработка изображений* – М.: Техносфера, 2012. – 1104 с.
- [2] Яне, Б. *Цифровая обработка изображений* – М. Техносфера, 2007– 584 с.
- [3] Шапиро, Л., Стокман Дж. *Компьютерное зрение* – М.: ООО «Бином-Пресс», 2009. – 760 с.
- [4] Форсайт, Д., Понс, Ж. *Компьютерное зрение. Современный подход* – М.: Изд. дом «Вильямс», 2004. – 928.
- [5] Старовойтов, В.В. *Цифровые изображения: от получения до обработки* / В.В. Старовойтов, Ю.И. Голуб. – Мн.: ОИПИ НАН Беларуси, 2014. – 202 с.
- [6] Гонсалес, Р., Вудс, Р., Эддинс, С. *Цифровая обработка изображений в среде MATLAB* – М.: Техносфера, 2006. – 616 с.