

ЛЕКЦИЯ 8. КОНТРАСТИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ, СЖАТИЕ

Демидов Д.В.

Обработка аудиовизуальной информации.
Бакалавры, 6 семестр. Магистры, 9 семестр

План лекции

2

- Глобальное контрастирование
 - ▣ Методы улучшения изображений с помощью оператора.
 - ▣ Автоматические методы улучшения изображений.
 - ▣ Степенные и логарифмические преобразования передаточной функции яркости.
 - ▣ Эквализация гистограммы
- Адаптивное контрастирование
- Улучшение резкости
 - ▣ АРЕХ-метод

Контрастирование

Линейное преобразование функции яркости

Степенное преобразование функции яркости

Логарифмическое преобразование функции яркости

Слабый контраст

4

- Предположим, что минимальная и максимальная яркости исходного изображения равны f_{min} и f_{max} соответственно.
- Если эти параметры или один из них существенно отличаются от граничных значений яркостного диапазона, то визуализированная картина выглядит либо как темная, либо как ненасыщенная, неудобная, утомляющая при наблюдении.

Линейное контрастирование

5

- При линейном контрастировании используется линейное поэлементное преобразование вида:

$$g(n, m) = a \cdot f(n, m) + b$$

- Параметры преобразования a и b определяются желаемыми значениями минимальной g_{min} и максимальной g_{max} выходной яркости.

$$a = \frac{g_{max} - g_{min}}{f_{max} - f_{min}} \quad b = \frac{g_{min} f_{max} - g_{max} f_{min}}{f_{max} - f_{min}}$$

$$g = \frac{f - f_{min}}{f_{max} - f_{min}} (g_{max} - g_{min}) + g_{min}$$

Линейное контрастирование

6



Линейное контрастирование

7



Степенные преобразования

8

- Одним из наиболее часто применяемых в обработке изображений является преобразование, называемое гамма-коррекцией:

$$g(n, m) = c \left(f(n, m) + f_0 \right)^\gamma$$

- где c, f_0, γ – неотрицательные константы.
- При этом функция яркости должна быть нормирована: значения должны лежать в интервале $[0; 1]$.
- После преобразования можно снова свести к $[0..255]$

Степенные преобразования

9



$$c = 1, f_0 = 0, \gamma = 0.5$$

Логарифмические преобразования

10

- Строится гистограмма изображения и оценивается математическое ожидание - среднее, минимальное, максимальное значения сигнала. Вычисляются:

- Положительный диапазон

$$PositiveRange = \max(2, f_{\max} - mean)$$

- Отрицательный диапазон

$$NegativeRange = \max(2, mean - f_{\min})$$

- и два коэффициента преобразования:

$$PositiveAlpha = \frac{2^{L-1}}{\ln(PositiveRange)}$$

$$NegativeAlpha = \frac{2^{L-1}}{\ln(NegativeRange)}$$

Логарифмические преобразования

11

- Для всех отсчетов изображения вычисляется разность яркости и среднего значения сигнала:

$$f' = f(n, m) - mean$$

- На основании этого значения формируется выходное изображение:

$$g(n, m) = \begin{cases} mean + \lceil PositiveAlpha \cdot \ln(f') \rceil & f' \geq 1 \\ mean - \lceil NegativeAlpha \cdot \ln(|f'|) \rceil & f' \leq -1 \\ mean & otherwise \end{cases}$$

12

Эквализация гистограммы

Эквализация гистограммы

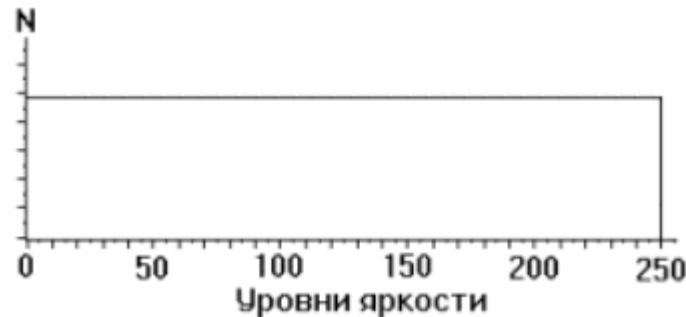
13

- Эквализация – процедура выравнивания гистограммы изображения путем изменения яркости отдельных пикселей.
- Гистограмма произвольного изображения представляет собой график, отображающий в виде пиков количество пикселей в изображении с определенной яркостью
- Как правило, для некоторого изображения гистограмма представляет собой множество пиков, неравномерно распределенных по графику.

Эквализация гистограммы

14

- Главной задачей эквализации гистограмм, является преобразование, в котором все уровни яркости приобретут примерно одинаковую частоту, а гистограмма яркостей будет близка к равномерному закону распределения:



- Средний уровень яркости, к которому следует стремиться:

$$n_0 = \frac{N \cdot M}{2^L} = \frac{N \cdot M}{256}$$

Эквализация гистограммы (2)

15

- Расстояние Δg_i между уровнями g_i и g_{i+1} различно, но в среднем число пикселей на каждом уровне одинаковое и равно n_0 .
- Допустим $N=M=512$, тогда $J=256$ и $n_0=1024$. Например,

Уровень яркости	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Количество пикселей	188	347	544	315	700	3012	435	230	505

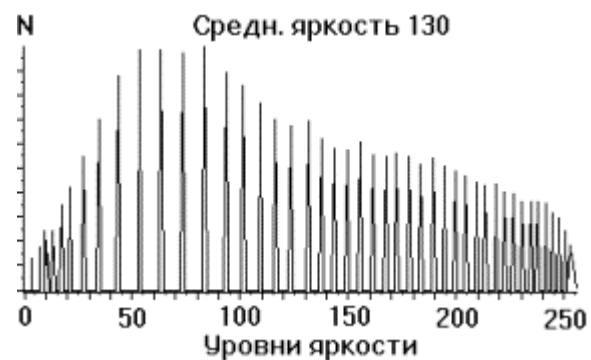
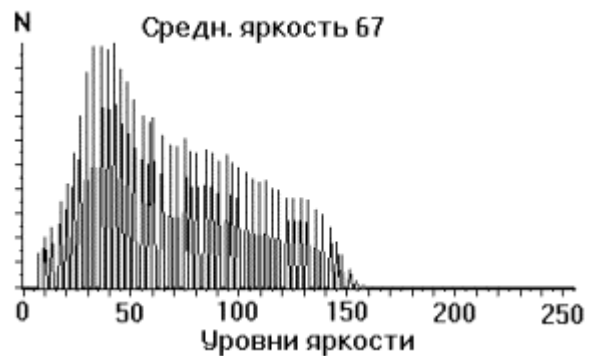
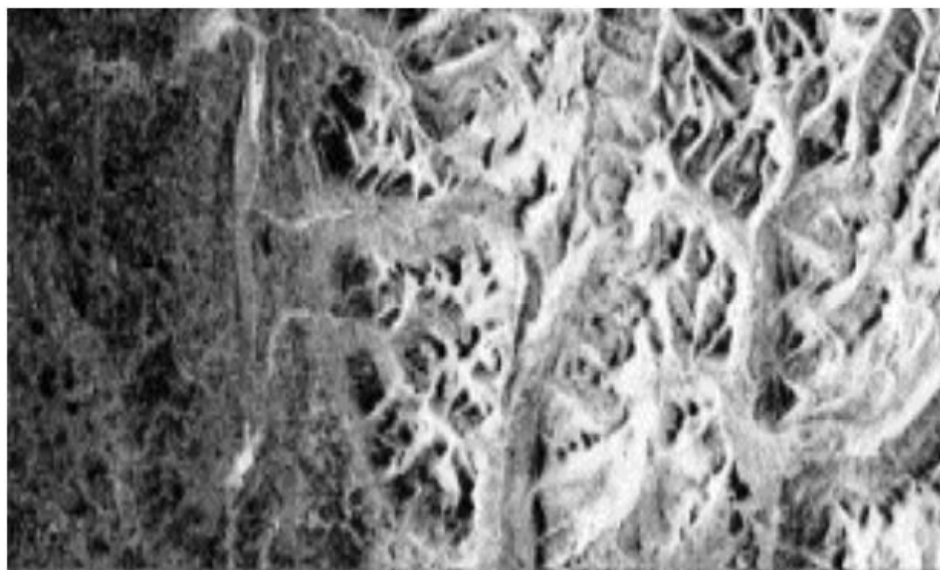
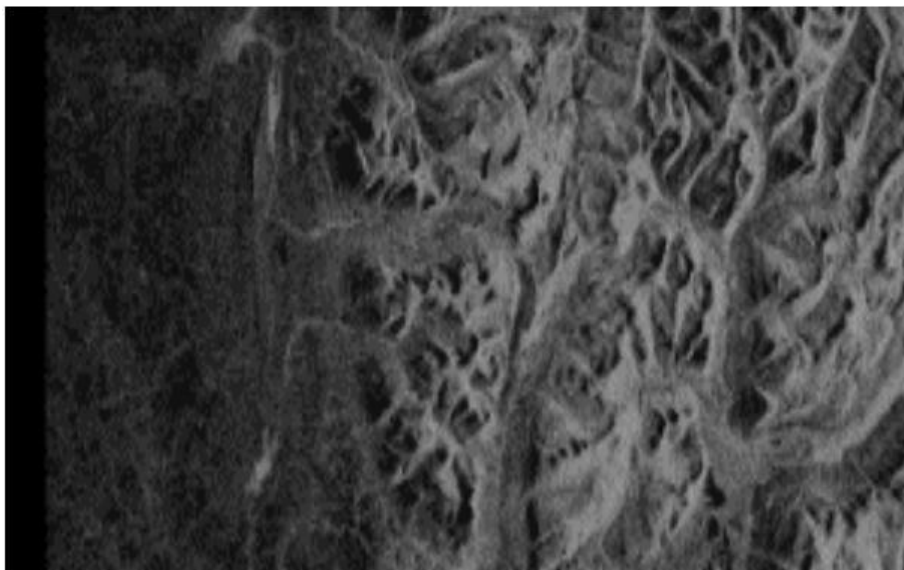
1079 $\approx n_0$ 1015 $\approx n_0$ 3012 $\approx 3n_0$ 1170 $\approx n_0$

Количество пикселей	1079	1015	3012	0	0	1170			
Новый уровень яркости	0	1	2	3	4	5	6	7	8

- Рассмотренные процедуры выполняются для всех уровней яркости.

Пример эквализации

16

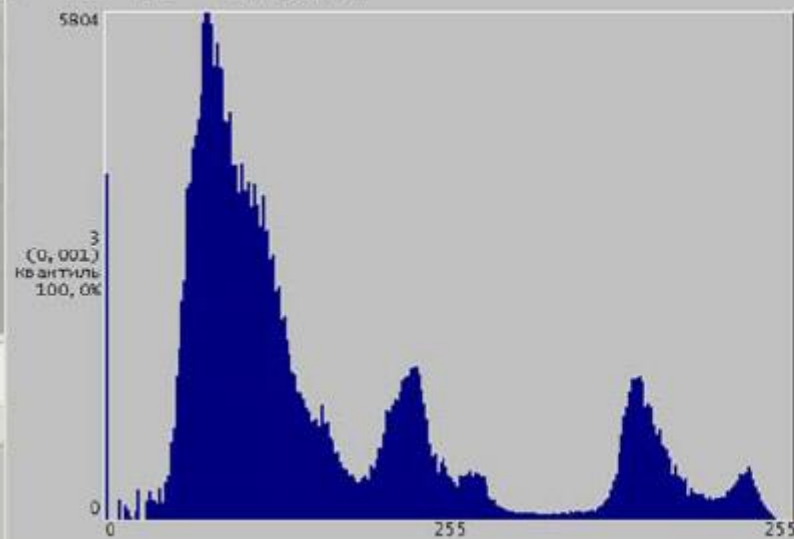


Пример эквализации

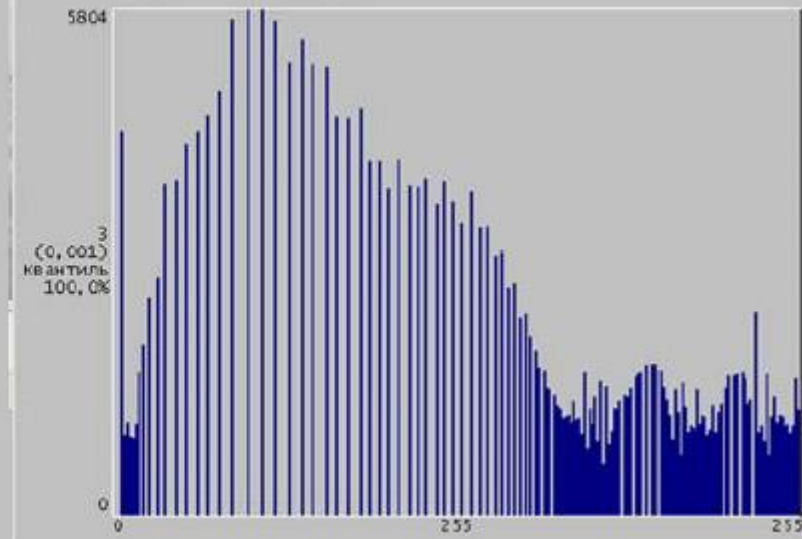
17



Мин. Макс. Среднее СКО Учтено Пропущено
0 255 80,9 58,7 280016 0



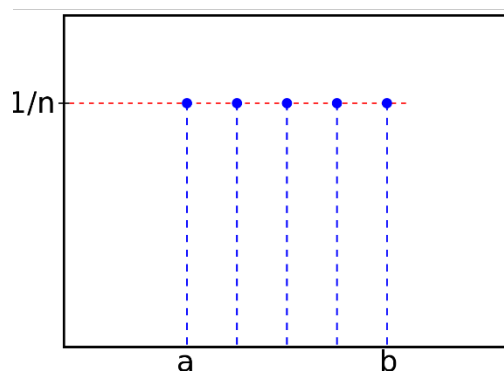
Мин. Макс. Среднее СКО Учтено Пропущено
3 255 128 73 280016 0



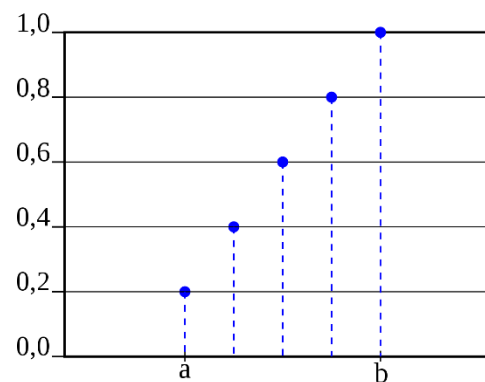
Функция вероятности и функция распределения вероятности

18

- Цель эквализации – приблизить распределение интенсивностей к равномерному.
- PMF – вероятность (частота) каждого числа в наборе данных.
- CDF – функция, которая вычисляет совокупную сумму всех значений, рассчитанных в PMF.



Функция вероятности
Probability mass function



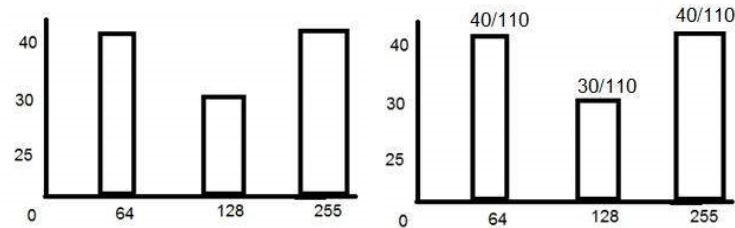
Функция распределения
Cumulative distribution function

Дискретное равномерное распределение

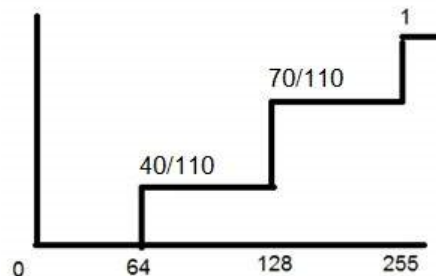
Вычисление PMF и CDF

19

- PMF можно получить из гистограммы, которая в нашем случае показывает частоту значений уровня серого для изображения с 8 битами на пиксель. Чтобы это сделать, мы просто делим частоту каждого вхождения на суммарное число пикселей (нормализуем в диапазон $[0, 1]$).



- Для получения CDF мы просто последовательно складываем значения PMF.
- Таким образом, получаем монотонно возрастающую функцию, что является необходимым условием выравнивания гистограммы.



Эквализация гистограммы

20

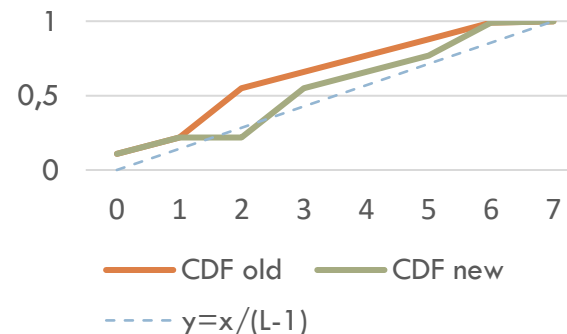
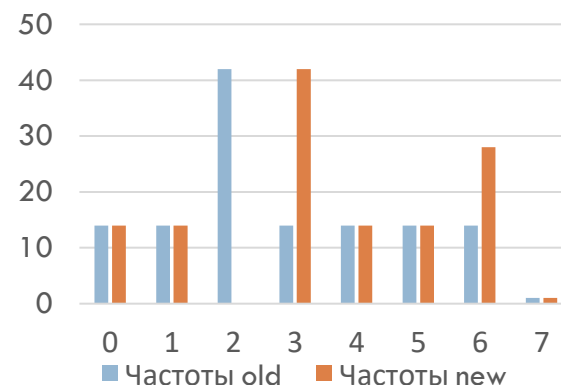
- Предположим, что изображение, имеет 8 уровней интенсивности. Тогда, построив гистограмму, пусть наша функция распределения (CDF) приняла следующий вид (L – число градаций интенсивности):

Частоты	14	14	42	14	14	14	14	1
Значение уровня интенсивности	0	1	2	3	4	5	6	7
CDF	0,11	0,22	0,55	0,66	0,77	0,88	0,99	1
CDF * (L-1)	0	1	3	4	5	6	6	7

- Пропущена интенсивность 2, а интенсивности 5 и 6 переходят в одну и ту же – в 6. На графике CDF приблизилась к прямой линии.

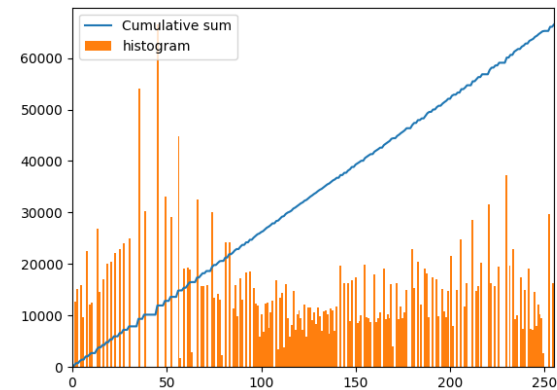
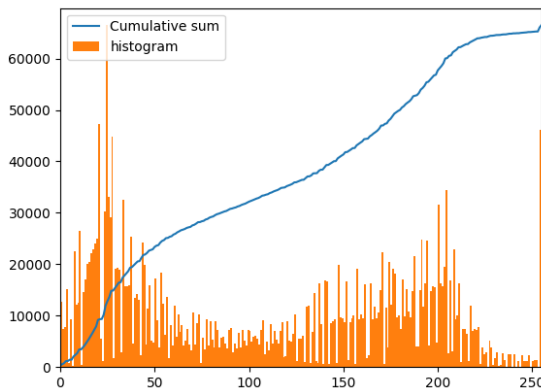
Частоты	14	14	0	42	14	14	28	1
Значение уровня интенсивности	0	1	2	3	4	5	6	7
CDF	0,11	0,22	0,22	0,55	0,66	0,77	0,99	1

- Для преобразования изображения интенсивность исходного пикселя используется как индекс для массива, содержащего новые уровни интенсивности (т.е. значения, записанные в строке $CDF*(L-1)$)



Мост

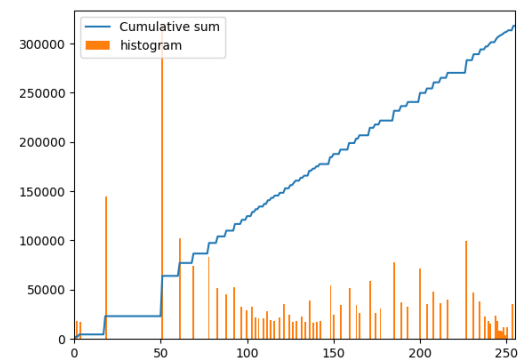
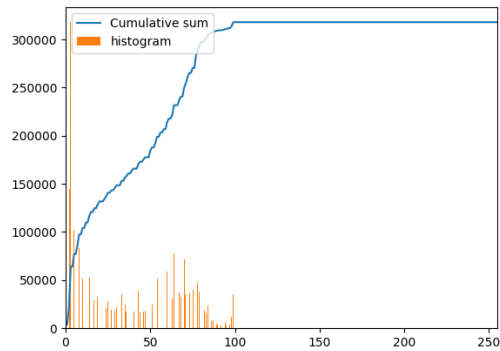
21



- Легко можно заметить, что гистограммы после эквализации имеют своеобразные заметные разрывы. Это связано с тем, что динамический диапазон выходного изображения шире диапазона исходного.

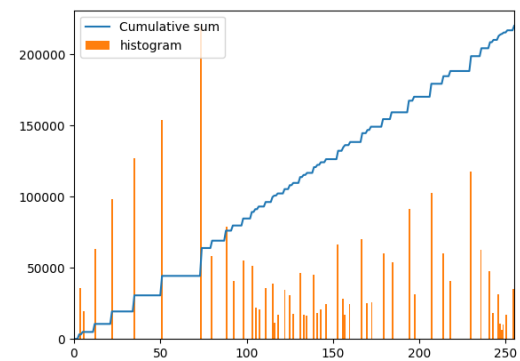
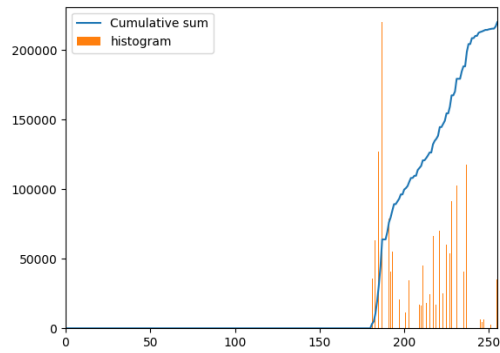
Мост (тёмное изображение)

22



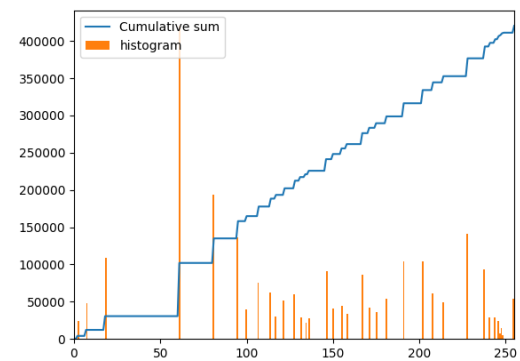
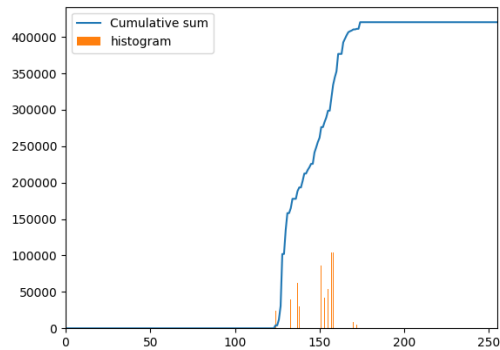
Мост (светлое изображение)

23



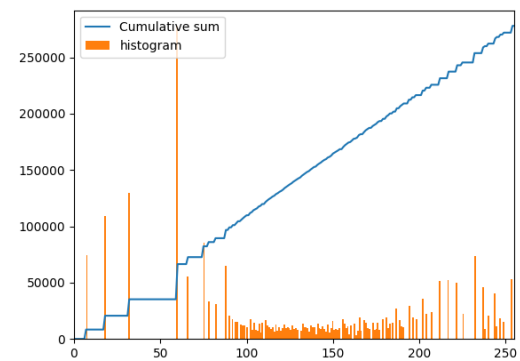
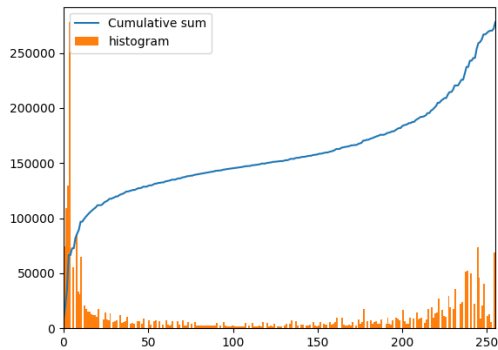
Мост (низкоконтрастное изображение)

24



Мост (высококонтрастное изображение)

25



Эквализация гистограммы для цветных изображений

26

- Ни в коем случае не применяйте эквализацию к каналам RGB. В некоторых редких случаях это позволяет добиться успеха, но в большинстве случаев результат так себе – цвета получаются неестественными и холодными.
- Вспомните о другом цветовом пространстве – HSI. Здесь есть отдельный канал интенсивности. Именно к нему и стоит применять эквализацию.



Адаптивное контрастирование

Локальный контраст

Локальная статистика

Нелинейное усиление локального контраста

Определение нового значения яркости

Локальный контраст в окрестности

28

- Пусть
 - ▣ W – окрестность размером $[n*m]$ с центром в точке (i, j)
 - ▣ $L(i, j)$ – интенсивность изображения в точке (i, j)
 - ▣ $H(L(i, j))$ – нормированное значение гистограммы яркости в рамках W
- Момент 2-го порядка $L(i, j)$ относительно среднего значения L в окрестности W (дисперсия):

$$\sigma^2(L) = \mu_2(L) = \sum_{(i,j) \in W} (L(i, j) - \bar{L})^2 H(L(i, j))$$

- Нормированная мера локального контраста:

$$C(i, j) = 1 - \frac{1}{1 + k \cdot \sigma^2(L)}$$

- ▣ Где $k=0.8$ – коэффициент нормирования, причём
- ▣ $C(i, j) = 0$ при равномерной яркости в окрестности W
- ▣ $C(i, j) \rightarrow 1$ при высокой дисперсии

Локальная статистика окрестности

29

- ε – энтропия,
- σ – среднеквадратичное отклонение,
- H_s – характеристика локальной скользящей окрестности
 - Например, функция протяженности гистограммы:

$$H_s(W(i, j)) = \frac{L_{\max}(W(i, j)) - L_{\min}(W(i, j))}{H_{\max}(W(i, j))}$$

- Где L_{\max} , L_{\min} - максимальное и минимальное значения яркостей элементов скользящей окрестности W ;
- H_{\max} - максимальное значение гистограммы уровней яркости элементов окрестности W .

Нелинейное преобразование локального контраста

30

- Преобразование локального контраста нелинейной монотонной функцией $F(C(i,j))$ с учётом характеристики окрестности W :

$$C^*(i, j) = F(C(i, j)) = C(i, j)^\alpha$$

- Где

$$\alpha = \alpha_{\min} + (\alpha_{\max} - \alpha_{\min}) \frac{H_s(W(i, j)) - H_{s\min}(W(i, j))}{H_{s\max}(W(i, j)) - H_{s\min}(W(i, j))}$$

- $[\alpha_{\min}, \alpha_{\max}]$ — заданная область значений показателя степенной функции

Определение нового значения яркости

31

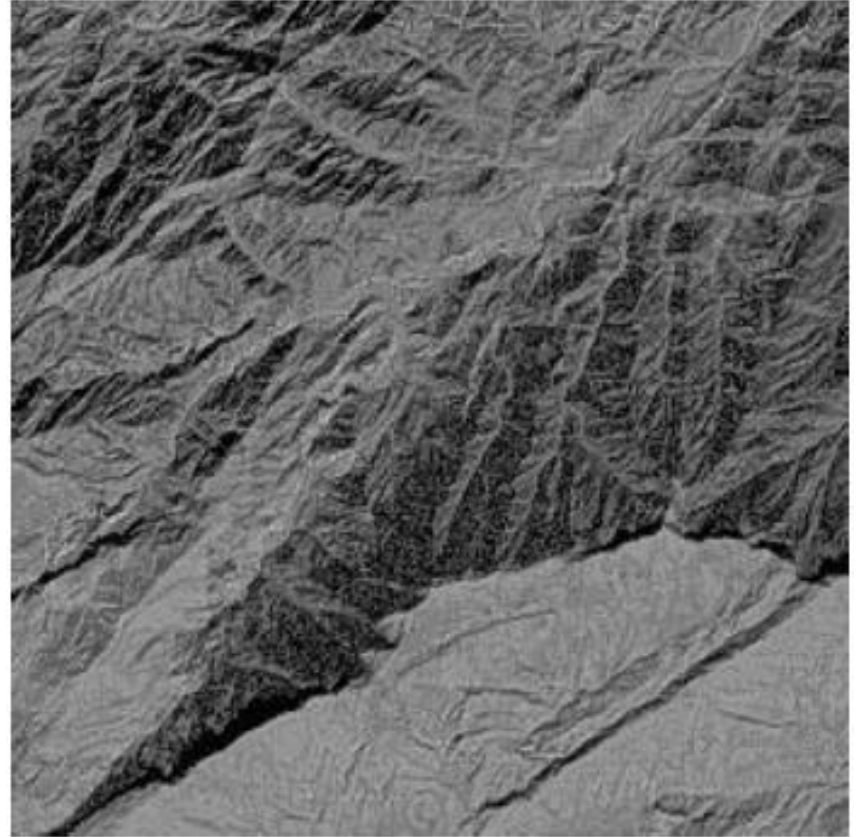
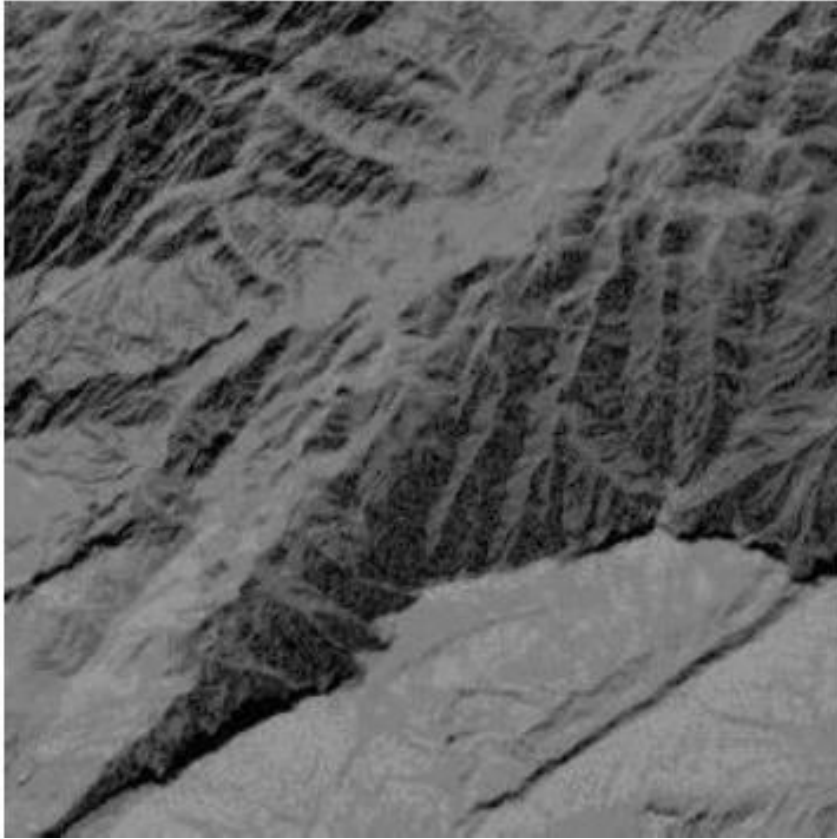
- Определение нового значения яркости $L^*(i, j)$ на основе нового локального контраста $C^*(i, j)$:

$$L^*(i, j) = \bar{L}(i, j) + \sqrt{\frac{C^*(i, j) \cdot n \cdot m}{1 - C^*(i, j)} - \sum_{(i, j) \in W_2 - W_1} (L(i, j) - \bar{L}(i, j))^2 H(L(i, j))}$$

- Ограничения метода:
 - Изображения не должны содержать большого числа импульсных выбросов. Иначе это приводит к неправильному вычислению функции протяженности гистограммы.
 - Изображения не должны содержать темные или светлые области большой площади. Иначе это приведёт к неэффективному увеличению контраста.
 - Если изображение не отвечает выше перечисленным требованиям, то нужно провести его фильтрацию или градационную коррекцию.

Пример адаптивного контрастирования

32



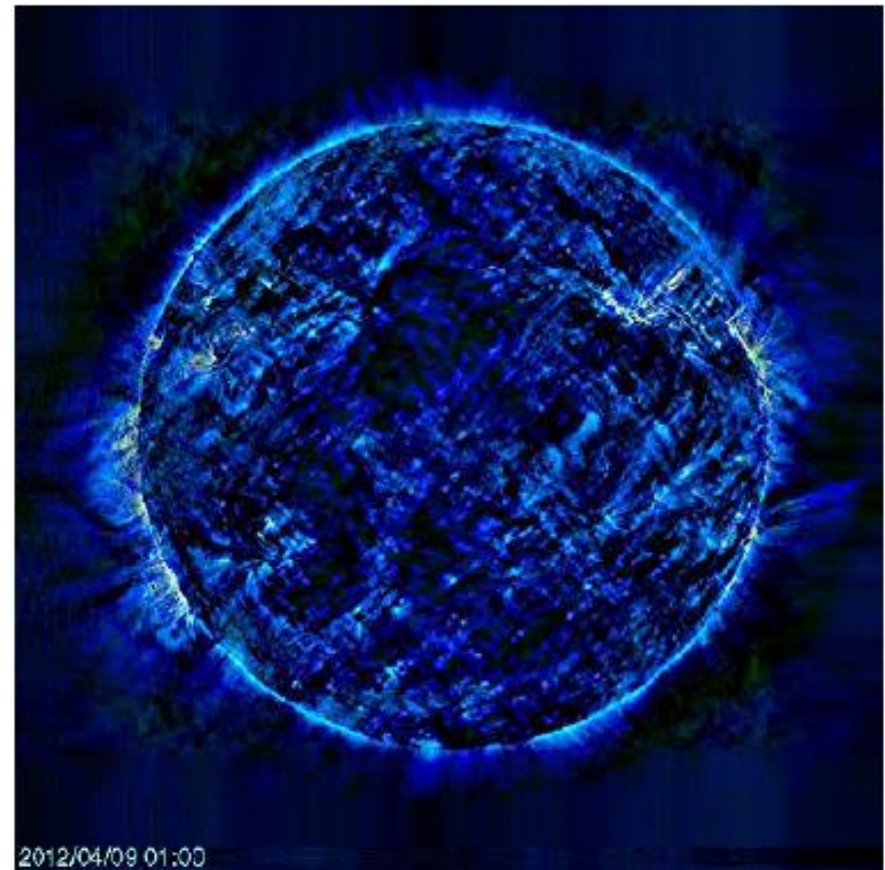
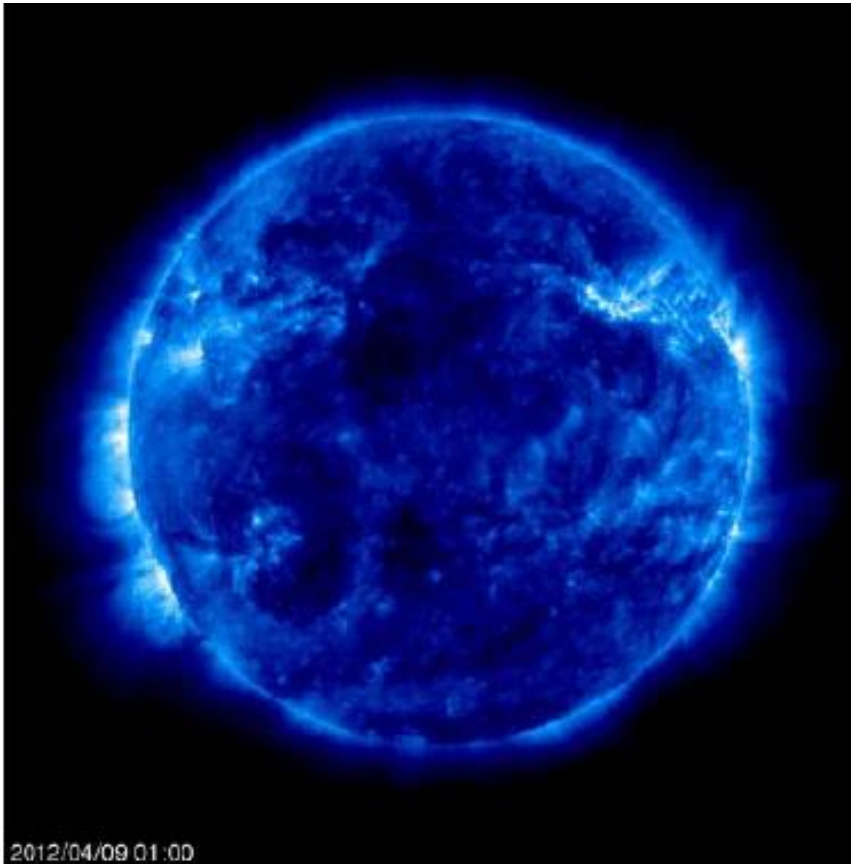
SVD-контрастирование

33

- Факторизация Singular Value Decomposition
- Восстановление слабоконтрастных изображений на основе сингулярного разложения матрицы исходных данных, использующего логарифмическое преобразование сингулярных чисел совместно с процедурой фильтрации аддитивных помех

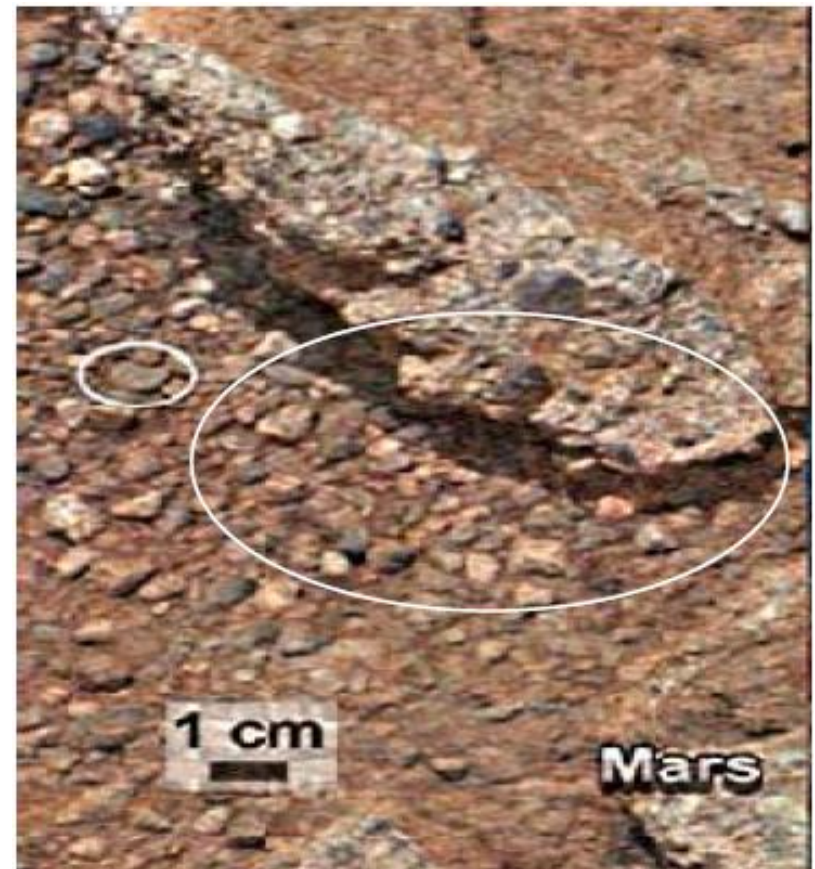
Пример SVD-контрастирования

34



Пример SVD-контрастирования

35



Что почитать

36

- В.Т. Фисенко, Т.Ю. Фисенко, Компьютерная обработка и распознавание изображений: учеб. пособие. - СПб: СПбГУ ИТМО, 2008. – 192 с.
- В.А. Лебедев, Адаптивное контрастирование изображений
- И.М.Журавель, Краткий курс теории обработки изображений, 1999 [Электронный ресурс]
<http://matlab.exponenta.ru/imageprocess/book2/index.php>

37

Улучшение резкости

APEX-метод

Улучшение резкости изображений

38

- Carasso A.S. et al. - APEX method and real-time blind deconvolution of scanning electron microscope imagery



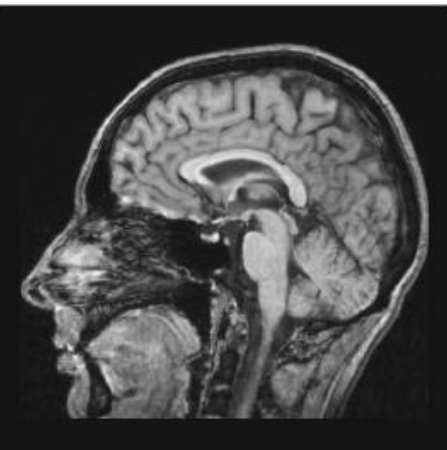
Adobe Acrobat
Document



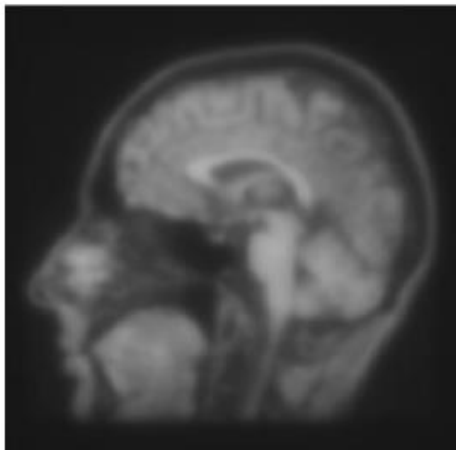
АРЕХ-метод

39

А



В



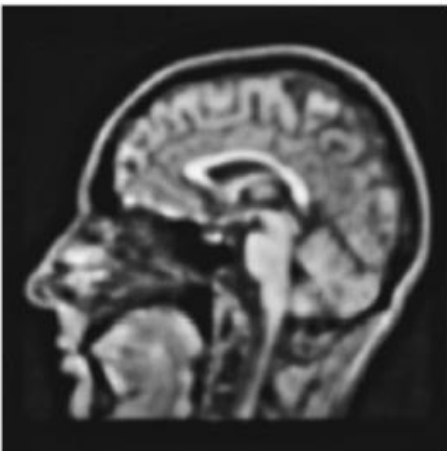
А



В



С



Д



С



Д



Сжатие изображений

Без потери информации

С потерей информации

Формат GIF

42

- Graphics Interchange Format – формат для обмена изображениями
- LZW-компрессия без потери качества
 - ▣ Lempel–Ziv–Welch
 - <https://en.wikipedia.org/wiki/Lempel%E2%80%93Ziv%E2%80%93Welch>
- Индексированная палитра из 256 цветов
- Один цвет может быть объявлен прозрачным
- Нет полупрозрачности (альфа-канала)
- Есть поддержка анимации: покадровое хранение с указанием времени показа.

Формат PNG

43

- Portable Network Graphics – растровый формат хранения графической информации
 - ▣ Полутон 16 бит;
 - ▣ 8-битная палитра для 24-битных цветов;
 - ▣ Полноцветное изображение с глубиной 48 бит.
- Сжатие по алгоритму DEFLATE без потерь
 - ▣ Deflate <https://en.wikipedia.org/wiki/DEFLATE>
- Создан на замену простого проприетарного GIF и сложного TIFF
- Поддержка альфа-канала
- Поддержка гамма-коррекции: хранение коэффициента предискажения
- Нет анимации

TIFF

44

- Tagged Image File Format – формат хранения растровых графических изображений:
 - ▣ Двухцветные
 - ▣ Полутоновые
 - ▣ Индексированная палитра
 - ▣ RGB, CMYK, YCbCr, CIE Lab
 - ▣ На канал 8, 16, 32, 64 бита
- Сжимает без потерь. Но может и с потерями:
 - ▣ Без потерь: RLE, LZW, LZ77, ZIP
 - LZ77, LZ78 https://en.wikipedia.org/wiki/LZ77_and_LZ78
 - RLE https://en.wikipedia.org/wiki/Run-length_encoding
 - ▣ С потерями: используется JPEG внутри TIFF

Формат JPEG

45

- Joint Photographic Experts Group – растровый графический формат
 - ▣ JPEG-LS – сжимает без потерь
 - ▣ JPEG – сжимает с потерями на основе DCT
 - DCT
 - https://en.wikipedia.org/wiki/Discrete_cosine_transform
 - ▣ JPEG2000 – сжимает с потерями на основе вэйвлетов
- Конвертация RGB → YCbCr

Что почитать

46

- Lempel–Ziv–Welch
<https://en.wikipedia.org/wiki/Lempel%E2%80%93Ziv%E2%80%93Welch>
- Deflate <https://en.wikipedia.org/wiki/DEFLATE>
- LZ77, LZ78
[https://en.wikipedia.org/wiki/LZ77 and LZ78](https://en.wikipedia.org/wiki/LZ77_and_LZ78)
- DCT
[https://en.wikipedia.org/wiki/Discrete cosine transform](https://en.wikipedia.org/wiki/Discrete_cosine_transform)
- RLE [https://en.wikipedia.org/wiki/Run-length encoding](https://en.wikipedia.org/wiki/Run-length_encoding)
- Борисова И. Цифровые методы обработки информации. ISBN: 978-5-7782-2448-3