

ЛЕКЦИЯ 6. ТЕКСТУРНЫЙ АНАЛИЗ

План лекции

2

- Текстуры
- Сегментация текстурных изображений
- Матрица пространственной смежности
- Матрица длин серий
- Матрица NGLDM
- Текстурные признаки

3

Текстура объекта

Виды текстур

Задачи анализа

Понятие текстуры

4

- **Текстура** — значимая характеристика объекта при его идентификации, различении, классификации, распознавании.

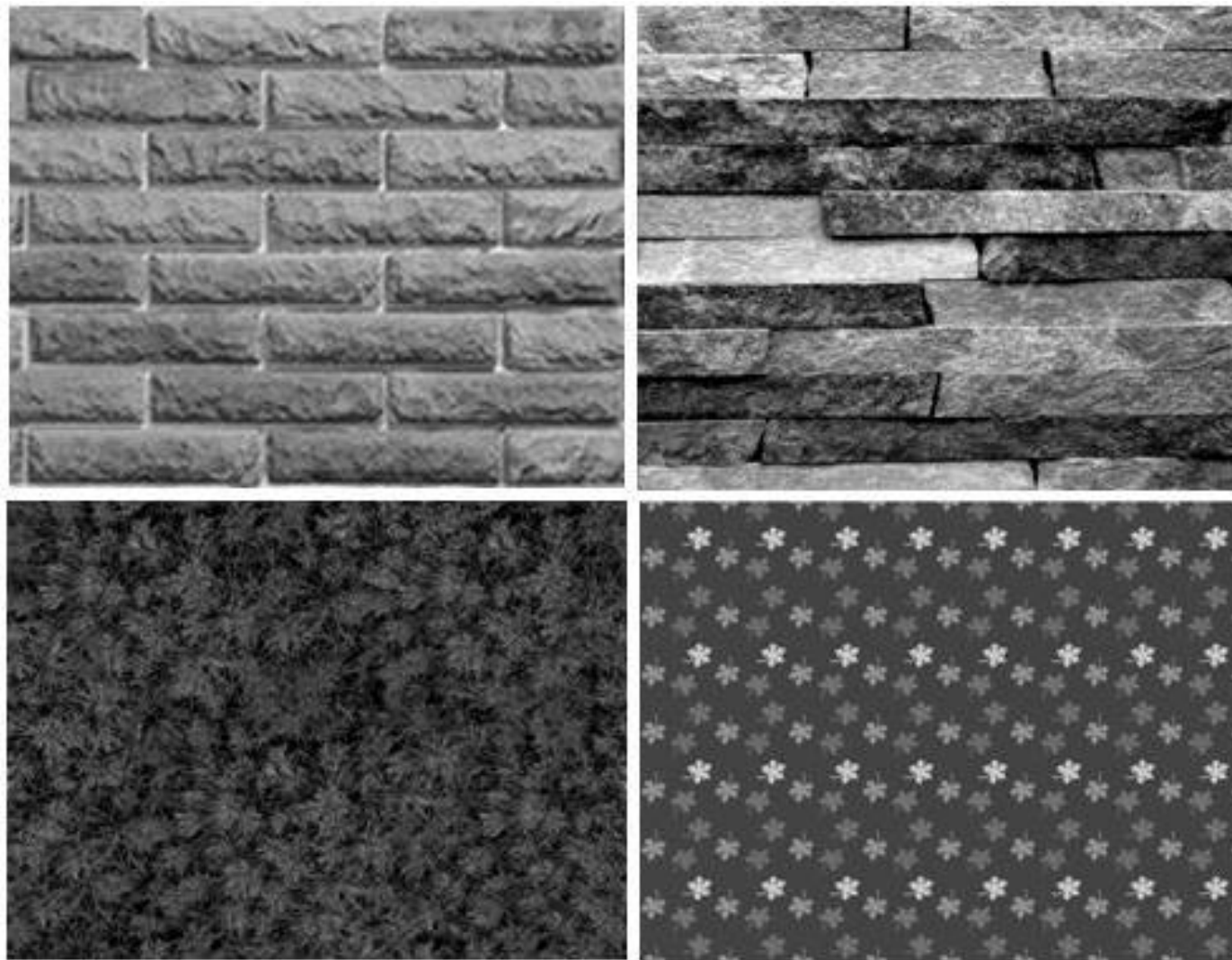
Примеры текстур естественного происхождения

5



Примеры регулярных текстур

6



Примеры фрактальных текстур

7



Задачи анализа текстурных изображений

8

- Выбор и формирование признаков, описывающих текстурные различия;
- Выделение и сегментация текстурных областей
 - ▣ разбиение изображения на области с постоянной текстурой, в которых значения текстурных признаков относительно постоянны;
- Классификация текстурных областей
 - ▣ Отнесение области к какому-либо классу, например, «лес», «озеро», «поле»;
- Идентификация объекта по текстуре

Методы сегментации текстур

9

□ Анализ областей

- ▣ Методы на основе областей пытаются найти группы или кластеры пикселей с похожими текстурными свойствами

□ Анализ границ

- ▣ Методы на основе границ пытаются обнаружить края текстур между пикселями, которым соответствуют различные текстурные распределения.

Методы анализа областей

10

- На статистических признаках
- На структурных признаках
- На фрактальных признаках
- На спектральных признаках
- Комбинированные

Текстурные признаки

Гистограмма яркости

Матрица пространственной смежности Харалика (GLCM)

Матрица длин серий (GLRLM)

Матрица локальной неоднородности яркости (NGLDM)

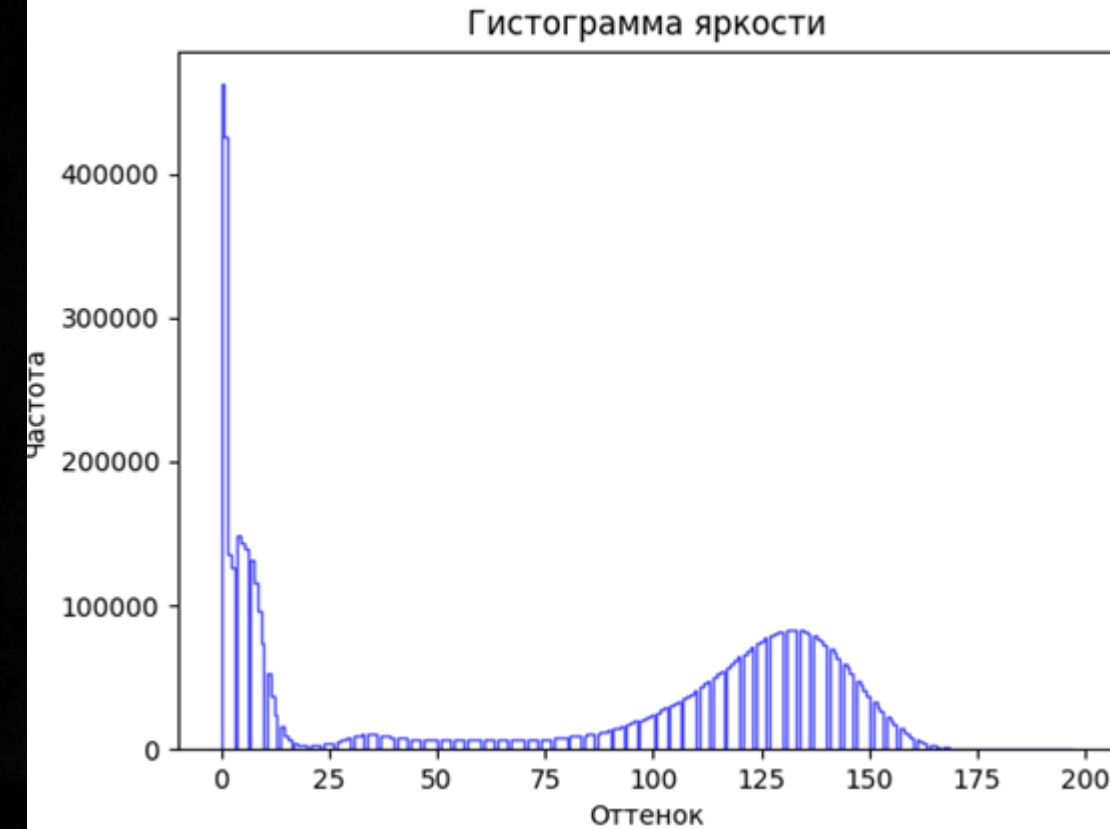
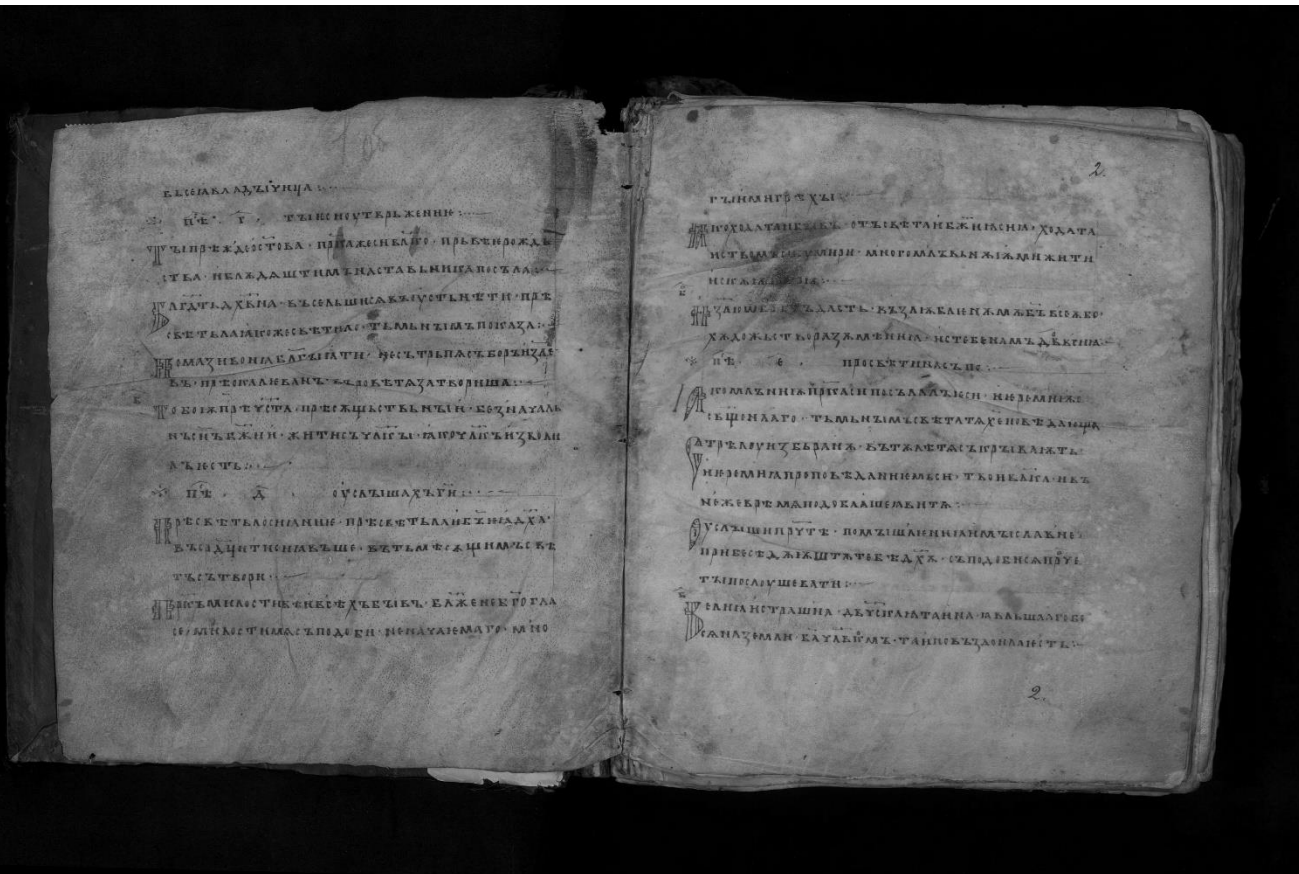
Матрица локальных отклонений яркости (NGTDM)

Локальные двоичные шаблоны (LBP)

Гистограмма направленных градиентов (HOG)

Гистограмма яркости

13



Пусть K — число градаций яркости, тогда гистограмма $H = \{n_1, n_2, \dots, n_K\}$

Признаки на основе гистограммы яркости

14

- Пусть K — число градаций яркости, тогда гистограмма $H = \{n_1, n_2, \dots, n_K\}$
- Вероятность яркости i :
- Среднее:
- Дисперсия:
- Скошенность:
- Эксцесс:
- Перцентили (10, 25, 75, 90)

$$p_i = \frac{n_i}{W \cdot H}$$

$$MEAN = \mu = \sum_{i=1}^K i \cdot p_i$$

$$VARIANCE = D = \sum_{i=1}^K (i - \mu)^2 p_i$$

$$SKEW = D^{\frac{2}{3}} \sum_{i=1}^K (i - \mu)^3 p_i$$

$$KURTOSIS = D^2 \sum_{i=1}^K (i - \mu)^4 p_i - 3$$

Признаки на основе гистограммы яркости

15

□ Коэффициент разброса:

$$KOV = \frac{\sigma}{\mu}$$

□ Квартильный коэффициент дисперсии:

$$QCOD = \frac{P_{75} - P_{25}}{P_{75} + P_{25}}$$

□ Энтропия:

$$ENT = -\sum_{i=1}^K p_i \log_2(p_i)$$

□ Энергия (однородность яркости):

$$ENERGY = \sum_{i=1}^K p_i^2$$

□ Вектор градиентов гистограммы:

$$H'_i = \frac{1}{2}(n_{i+1} - n_{i-1})$$

▣ Максимальный градиент гистограммы и соответствующее значение i :

$$\max(H'_i)$$

▣ Минимальный градиент гистограммы и соответствующее значение i :

$$\min(H'_i)$$

16

Матрица пространственной смежности

Grey Level Co-occurrence matrix, GLCM

Матрица пространственной смежности

17

- Матрица пространственной смежности (матрица Харалика, МПС, Grey Level Co-occurrence matrix, GLCM)
 - M, N — размер текстуры;
 - L — число градаций яркостей
 - $P(i, j)$ — количество соседств (пар) пикселей с яркостями i и j .

Нормализованная матрица пространственной смежности

18

- **Нормализованная матрица пространственной смежности (НМПС)** — матрица элемент $N(i, j)$ которой равен *относительному* количеству соседств пикселей с яркостью i с пикселями с яркостью j .

$$N(i, j) = \frac{1}{K} P(i, j)$$

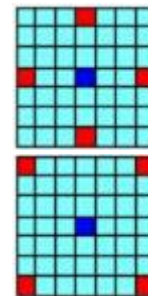
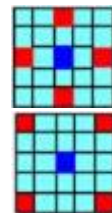
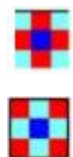
$$K = \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L P(i, j)$$

- НМПС обеспечивает инвариантность текстурных признаков к повороту, сдвигу и масштабированию.

Варианты расположения смежных элементов матрицы Харалика

19

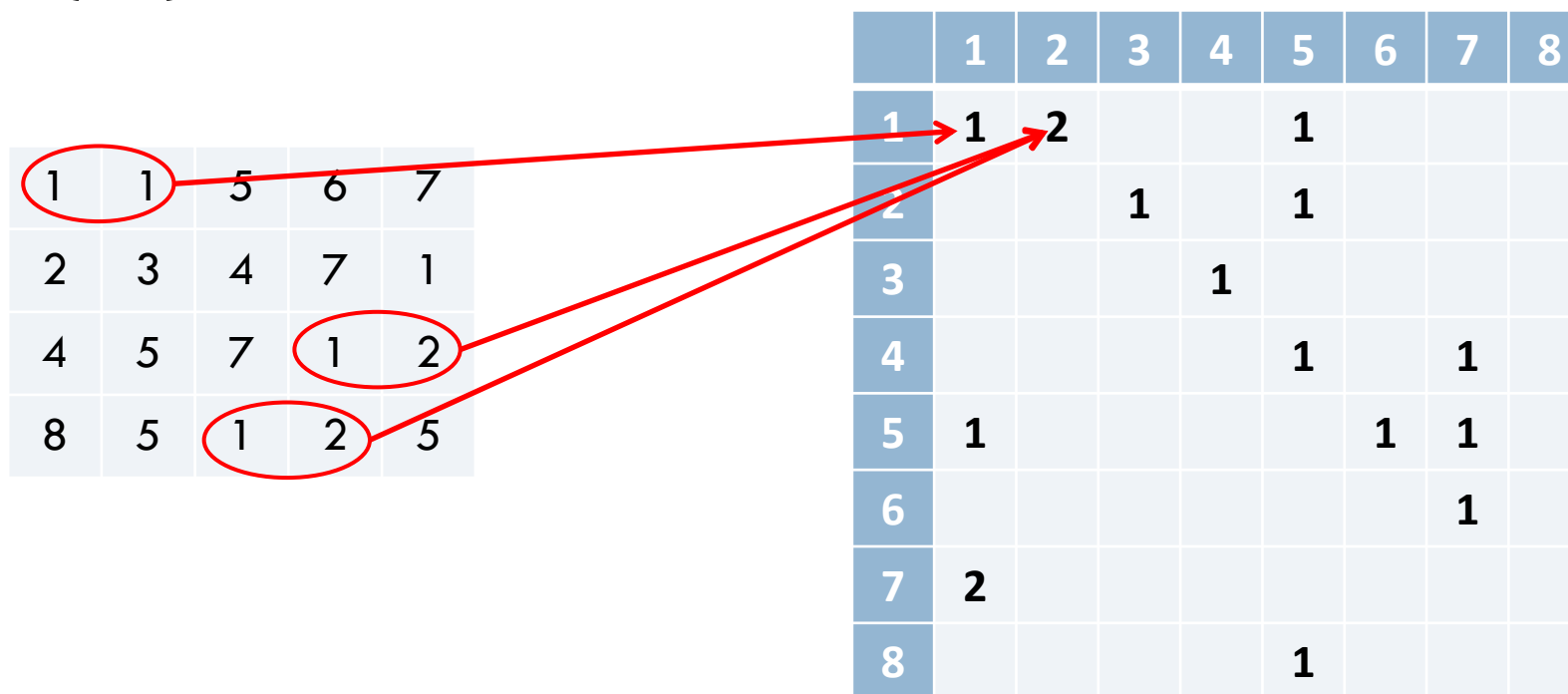
- Соседство может определяться по-разному с помощью параметров:
 - Расстояние между пикселями d
 - Направлением (углом между пикселями) φ
- Например
 - $d=1, \varphi = \{0,90,180,270\}$
 - $d=1, \varphi = \{45,135,225,315\}$
 - $d=2, \varphi = \{0,90,180,270\}$
 - $d=2, \varphi = \{45,135,225,315\}$
 - $d=3, \varphi = \{0,90,180,270\}$
 - $d=3, \varphi = \{45,135,225,315\}$



Пример формирования матрицы пространственной смежности

20

- Рассмотрим матрицу 4x5
 - ▣ 8 градаций яркости
 - ▣ $d=1, \varphi = 0$
 - ▣ Всего $K=4 \times (5-1) = 16$ соседств



Оценка общего числа соседств K

21

- Для одного соседа справа (или слева):

$$K = (W - 1) * H = WH - H$$

- Для одного соседа снизу (или сверху):

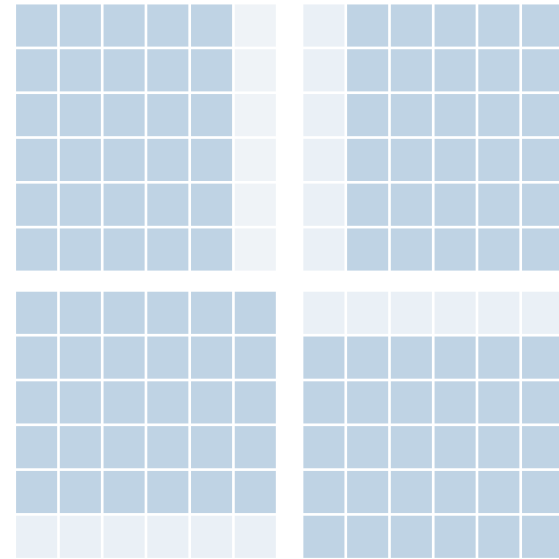
$$K = W * (H - 1) = WH - W$$

- Для двух соседей справа и снизу:

$$K = (WH - H) + (WH - W) = 2WH - W - H$$

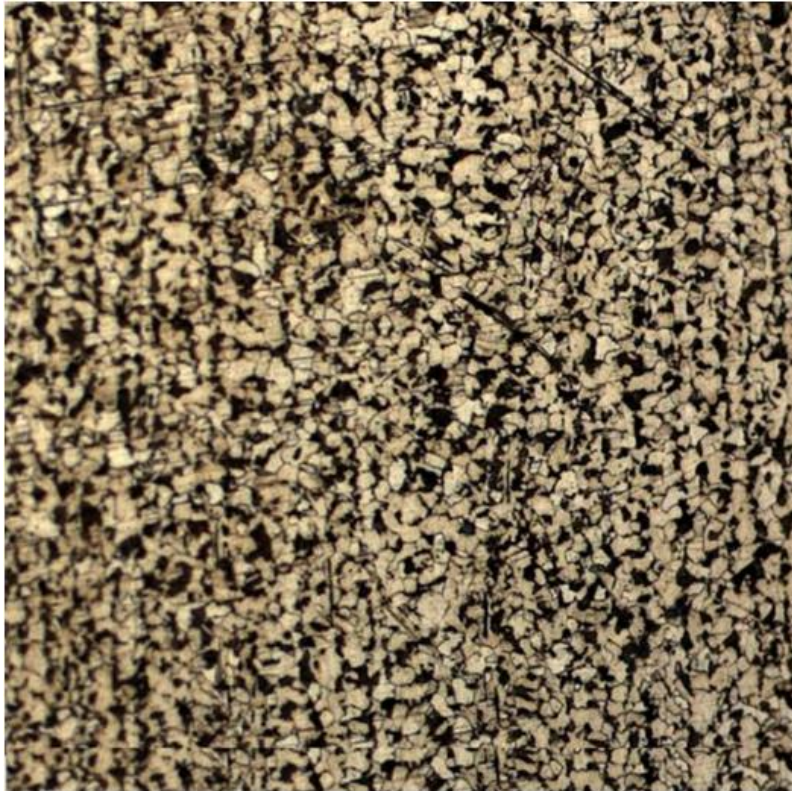
- Для четырёх соседей слева, сверху, справа, снизу:

$$K = 4WH - 2W - 2H$$

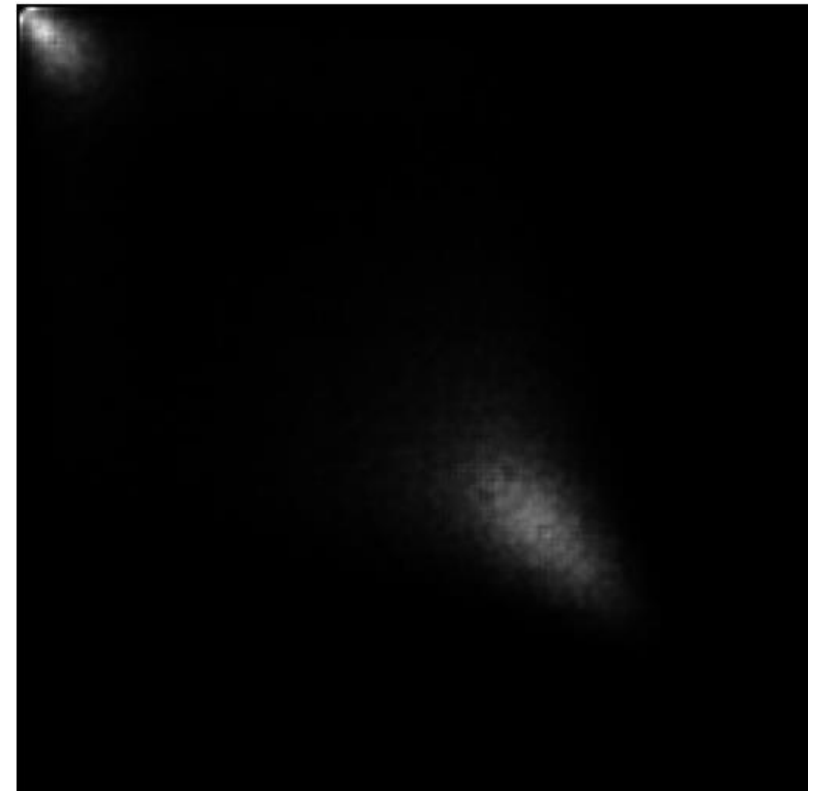
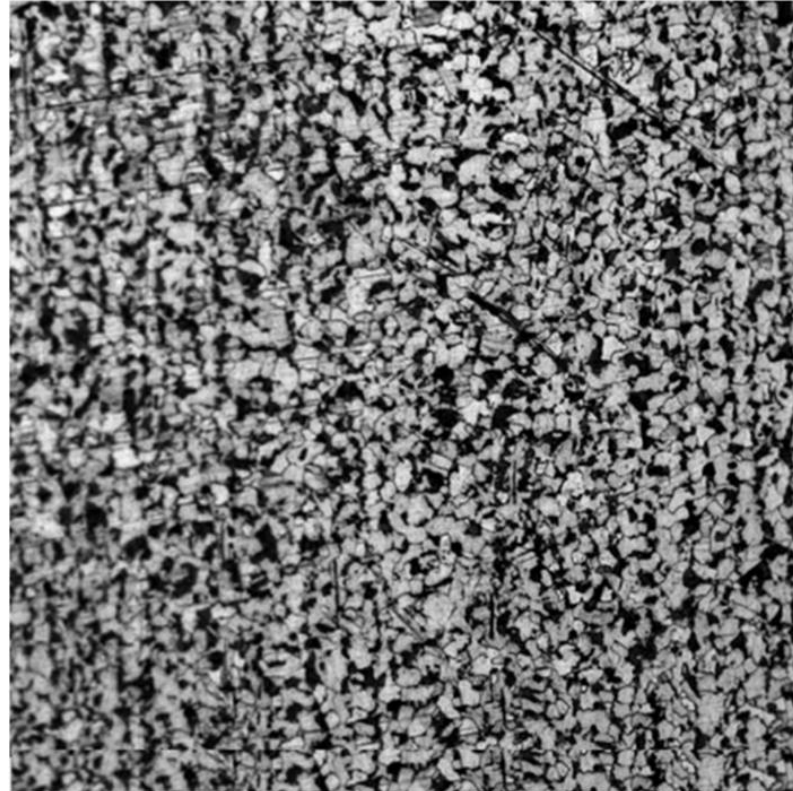


Визуализация матрицы Харалика

22



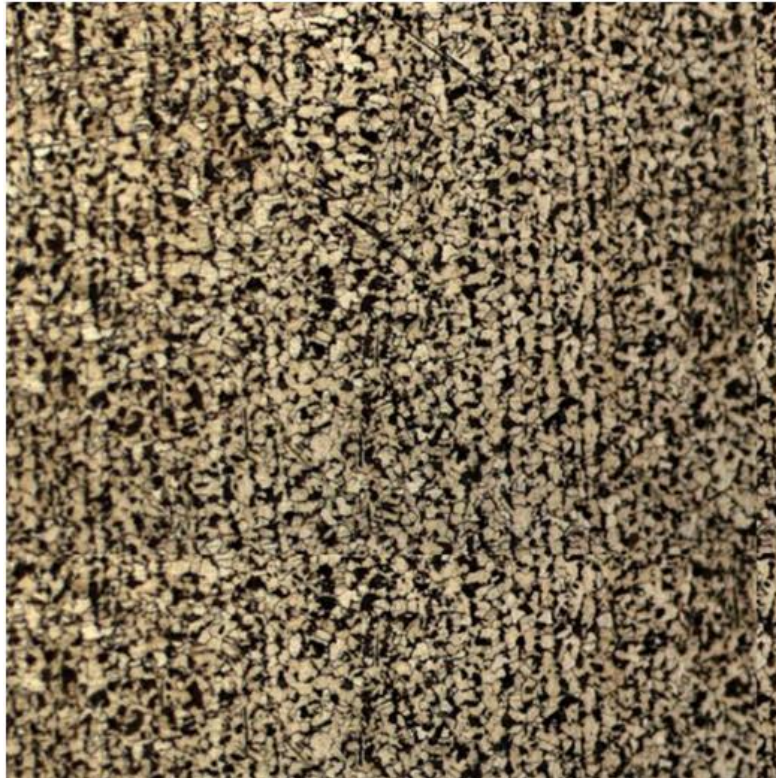
Поверхность металла в 1000-
кратном увеличении



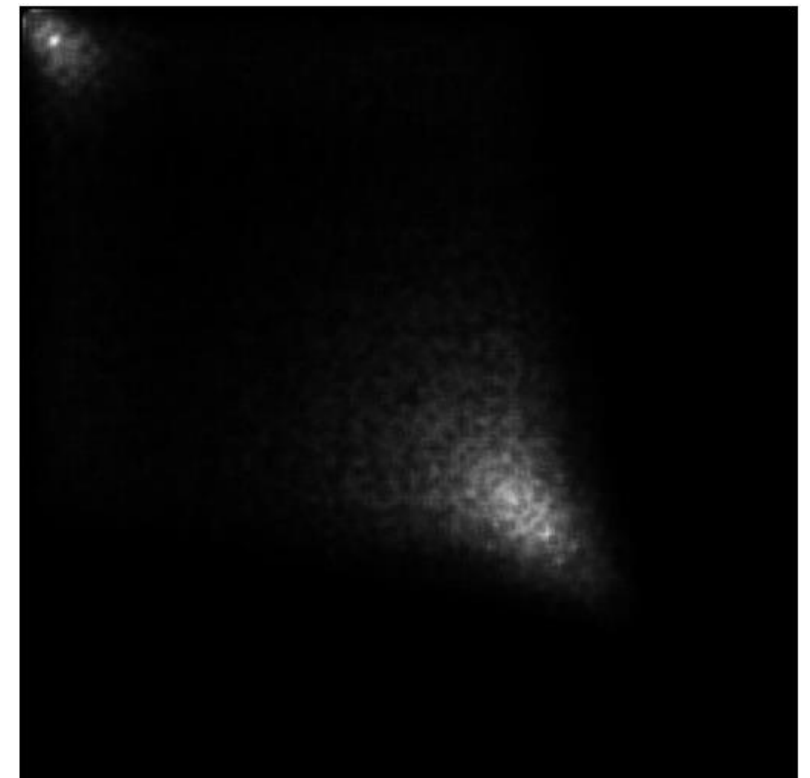
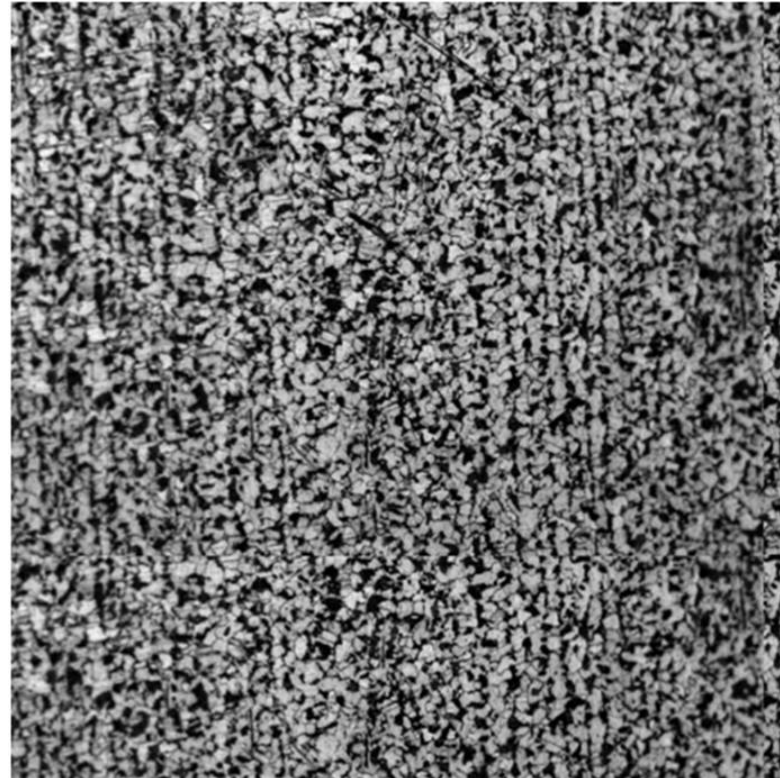
Визуализированная в оттенках
серого матрица Харалика

Визуализация матрицы Харалика

23



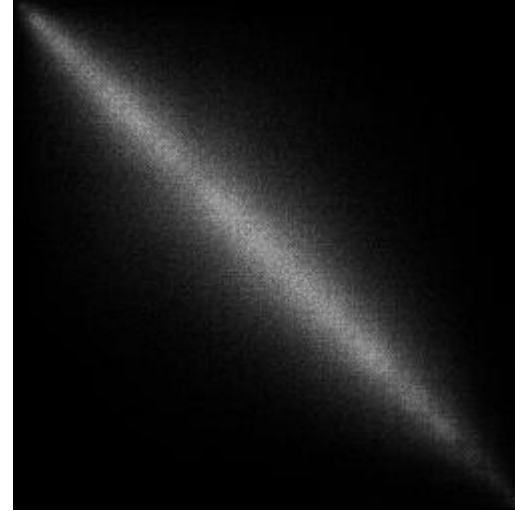
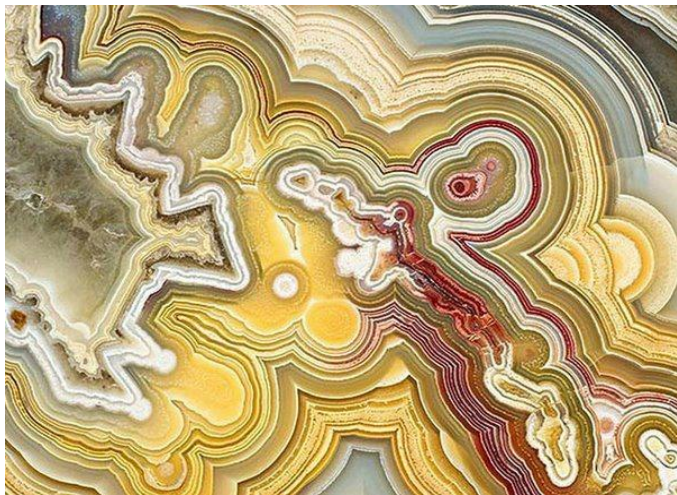
Деформированная сталь в 1000-
кратном увеличении



Матрица Харалика для
деформированной стали

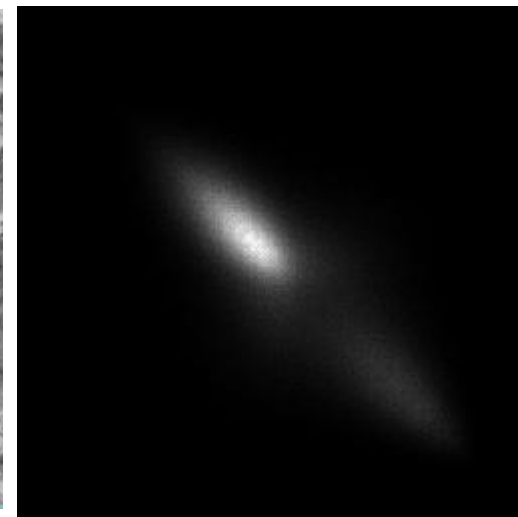
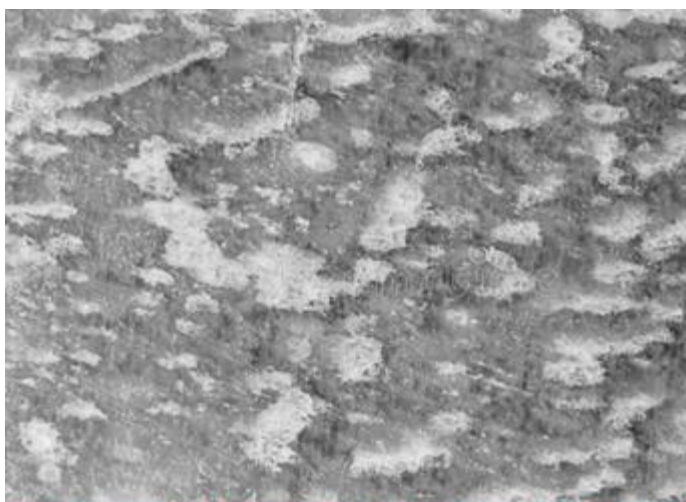
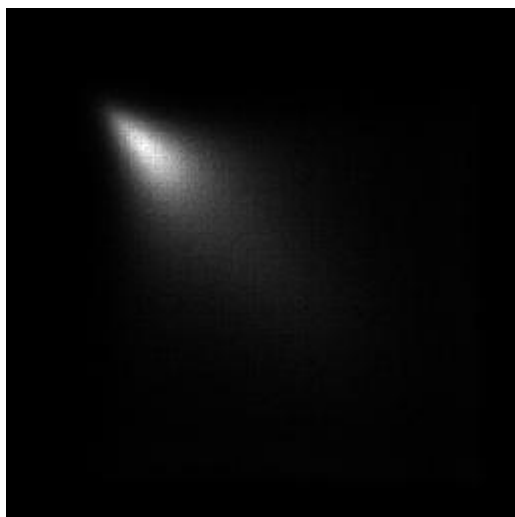
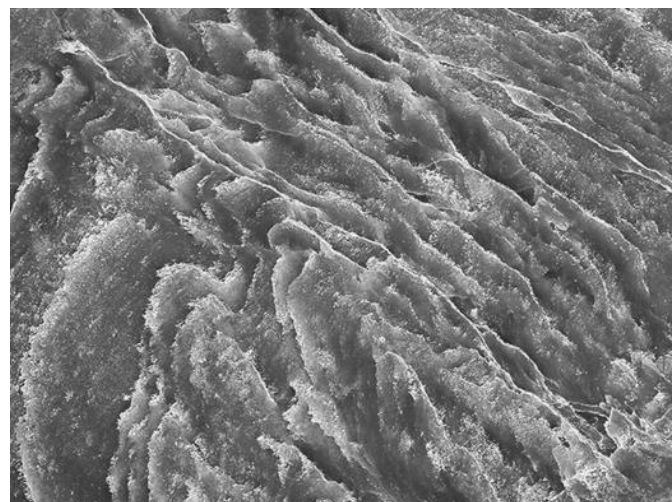
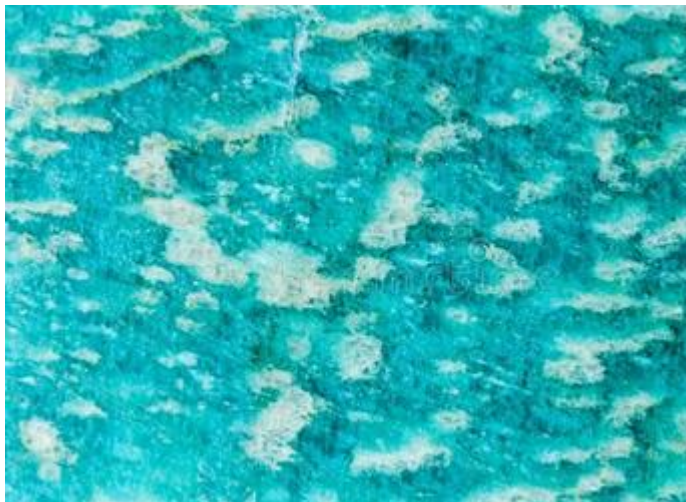
Агат

24



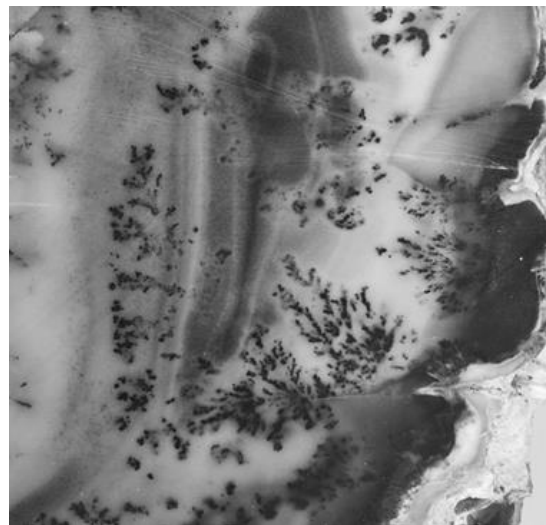
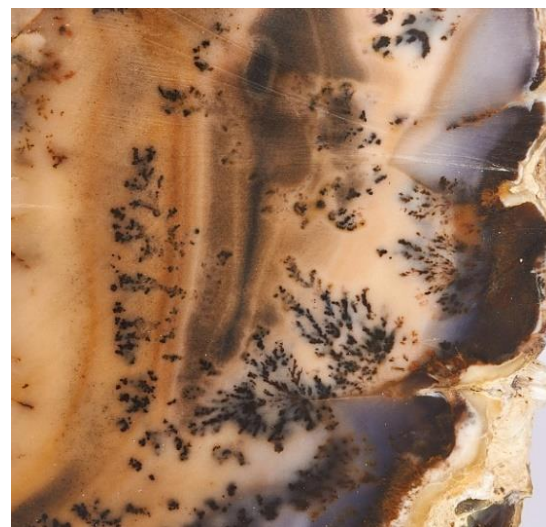
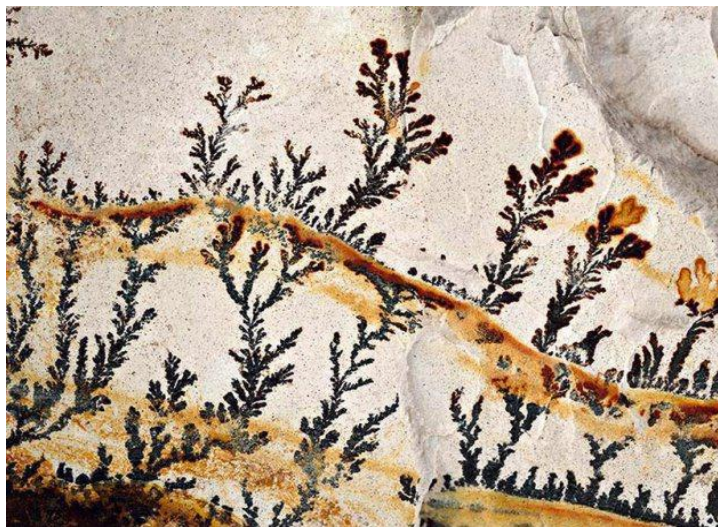
Амазонит

25



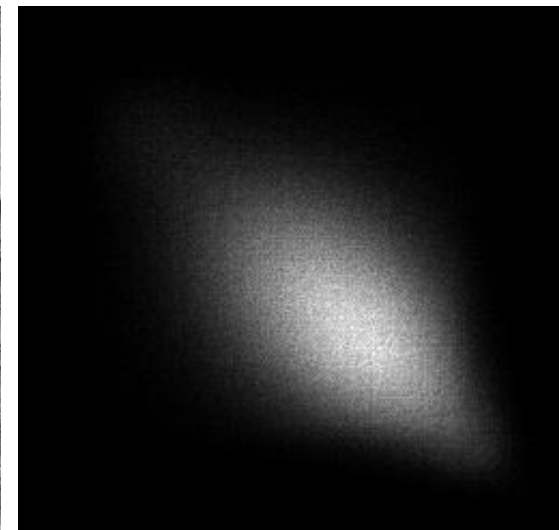
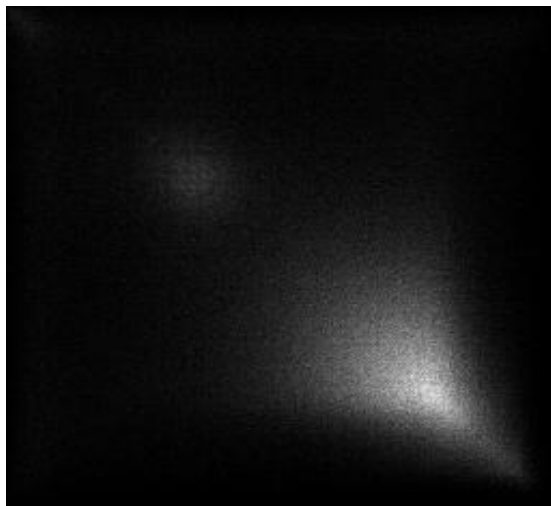
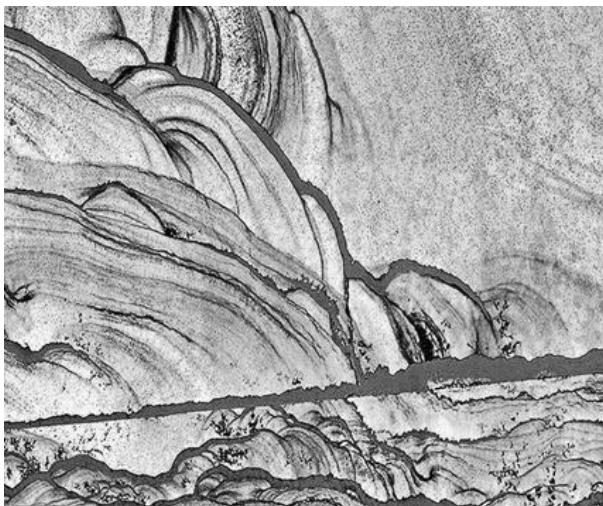
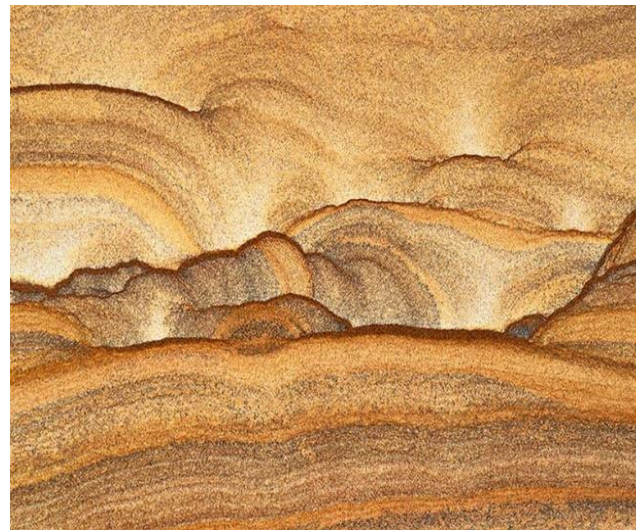
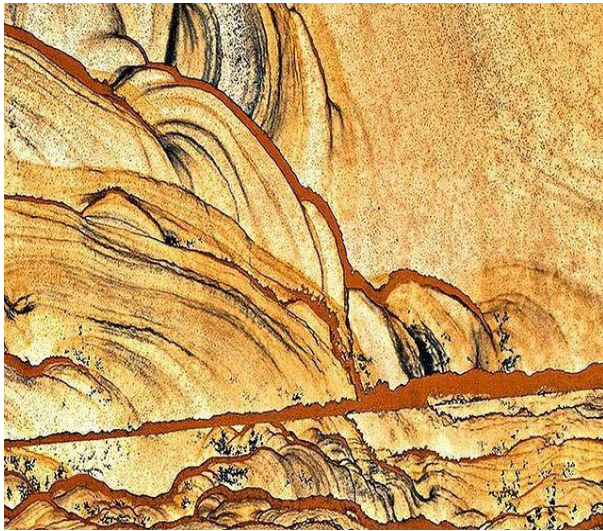
Моховой агат

26



Пейзажная яшма

27



Признаки на основе матрицы Харалика

28

- Энергия (Angular second moment, ASM) — второй угловой момент, мера однородности (однородности) изображения:
 - ▣ Чем однороднее изображение, тем выше энергия.

- Контрастность (CON) — момент инерции матрицы смежности относительно главной диагонали, мера локальной изменчивости:
 - ▣ Здесь $|i - j|$ — расстояние элемента от главной диагонали.

$$ASM = \sum_i \sum_j P^2(i, j)$$

$$CON = \sum_i \sum_j (i - j)^2 P(i, j)$$

Признаки на основе матрицы Харалика

29

- Максимальная вероятность (MPR) соседств пикселей с яркостями i и j , которые встречаются наиболее часто в данном изображении.
- Локальная однородность (LUN, гомогенность) — показатель "однородности" изображения — математическое ожидание величины, обратной к квадрату разности яркостей соседствующих пикселей;
- Энтропия (ENT) — "мера беспорядочности" распределения яркостей изображения.
- След нормализованной матрицы пространственной смежности (TR) — сумма элементов главной диагонали

$$MPR = \max_i \max_j P(i, j)$$

$$LUN = \sum_i \sum_j \frac{P(i, j)}{1 + (i - j)^2}$$

$$ENT = - \sum_i \sum_j P(i, j) \log_2 P(i, j)$$

$$TR = \sum_i P(i, i)$$

Признаки на основе матрицы Харалика

30

- Построим профили матрицы Харалика:

$$P_J(i) = \sum_j P(i, j)$$

$$P_I(j) = \sum_i P(i, j)$$

- Среднее значение яркости AV (мат. ожидания серого по J и по I):

$$AV = \mu_I = \mu_J = \sum_i i \cdot P_J(i) = \sum_j j \cdot P_I(j)$$

- Дисперсия серого по J и по I :

$$\sigma_J^2 = \sum_i (i - \mu_J)^2 P_J(i)$$

$$\sigma_I^2 = \sum_j (j - \mu_I)^2 P_I(j)$$

- Корреляция значений яркости изображения ($CORR$):

$$CORR = \frac{1}{\sigma_I \sigma_J} \sum_i \sum_j (i \cdot j \cdot P(i, j) - \mu_I \mu_J)$$

$$CORR = \frac{1}{\sigma^2} \sum_i \sum_j (i - \mu)(j - \mu) P(i, j)$$

31

Матрица длин серий

Grey level run length matrix, GLRLM

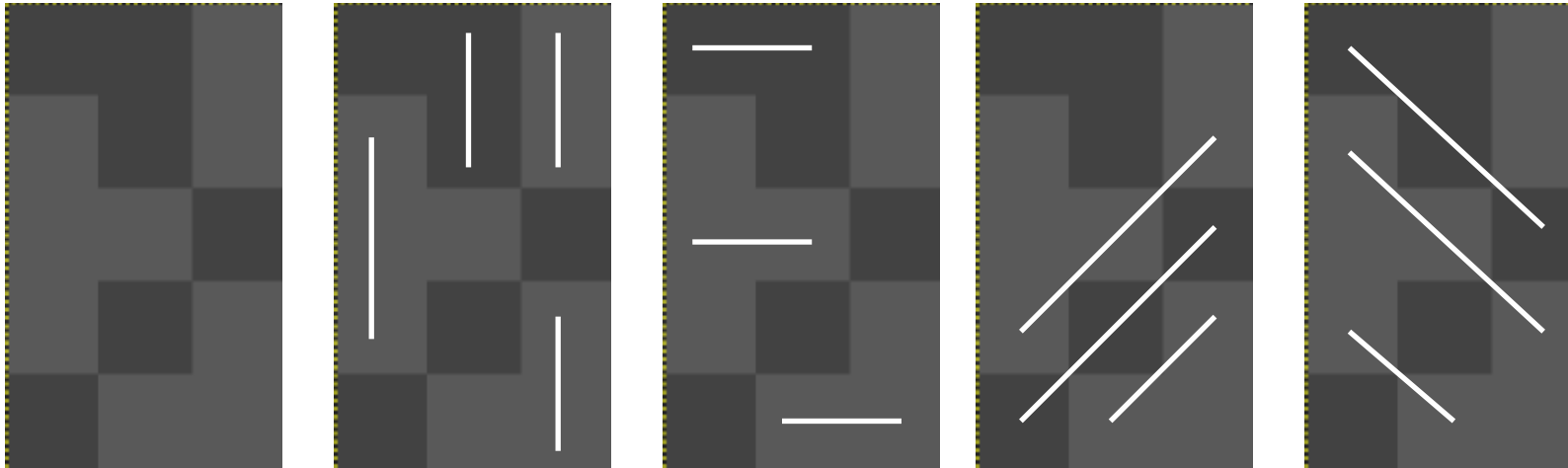
Длины серий (run lengths)

32

- *Серия* — максимальная связная совокупность вытянутых в прямую линию пикселей одной яркости.
- Характеристики серии:
 - Яркость a : от 1 до L , где L — число возможных значений яркости;
 - Длина r : от 2 до N_r , где N_r — число возможных длин серий;
 - Направление — обычно по вертикали, горизонтали и диагоналям.
- Матрица длин серий:
 - Размерность $L \times N_r$;
 - $B(a, r)$ — количество серий длины r и яркостью a по всем направлениям;

Примеры серий

33



- 3 вертикальных, 3 горизонтальных, 6 диагональных серии:
 - 2 тёмные серии длиной 2 и яркостью 66;
 - 6 светлых серий длиной 2 и яркостью 89;
 - 2 тёмные серии длиной 3 и яркостью 66;
 - 3 светлые серии длиной 3 и яркостью 89.

$B(\alpha, r)$	66	89
2	2	6
3	2	3

Матрица длин серий

34

- Матрица длин серий, матрица распределения длин серий, Gray level run-length matrix, GLRLM)
- M, N — размер текстуры;
- K — общее число серий в текстуре (сумма всей матрицы):

$$K = \sum_{a=1}^L \sum_{r=1}^{Nr} B(a, r)$$

- Доля изображения в сериях, процент серий:

$$\frac{K}{\sum_{a=1}^L \sum_{r=1}^{Nr} r \cdot B(a, r)} = \frac{K}{M \cdot N}$$

Текстурные признаки на основе длин серий

35

- Выразительность коротких серий (Short run emphasis inverse moments):
- Выразительность длинных серий (Long run emphasis moments):
- Неоднородность яркости (Gray-level nonuniformity):
- Неоднородность длин серий (Run length nonuniformity):

$$SRE = \frac{1}{K} \sum_{a=1}^L \sum_{r=1}^{Nr} \frac{1}{r^2} B(a, r)$$

$$LRE = \frac{1}{K} \sum_{a=1}^L \sum_{r=1}^{Nr} r^2 B(a, r)$$

$$GLNU = \frac{1}{K} \sum_{a=1}^L \left(\sum_{r=1}^{Nr} B(a, r) \right)^2$$

$$RLNU = \frac{1}{K} \sum_{r=1}^{Nr} \left(\sum_{a=1}^L B(a, r) \right)^2$$

Матрица локальной неоднородности яркости

Neighboring grey level dependence matrix, NGLDM

Neighboring grey level dependence matrix (NGLDM)

37

- Размерность матрицы $K \times S$, где
 - ▣ K — число возможных градаций яркости исходного изображения I ,
 - ▣ S — число соседних пикселей той же яркости (от 0 до 8 при $d = 1$).
- $Q(k, s)$ — количество пикселей в окружении соседей с тоном, отличающимся не более, чем на a .
 - ▣ Например, для $d = 1$ учитываем 8 соседей ($S \in [0..8]$), для $d = 2$ учитываем 24 соседа ($S \in [0..24]$).
 - ▣ Для $a = 0$ считаем соседей той же яркости k ; для $a = 1$ учитываем соседей с яркостью $k, k+1$ и $k-1$.

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

Соседей того же цвета (1): 3
 Соседей того же цвета (1): 2
 Соседей того же цвета (2): 4
 Соседей того же цвета (0): 2
 Соседей того же цвета (2): 5
 Соседей того же цвета (2): 4
 Соседей того же цвета (2): 4
 Соседей того же цвета (2): 4
 Соседей того же цвета (3): 1

Всего 9 пикселей
(пограничные пиксели пропускаем)

Индекс столбца
Индекс строки

Число пикселей одной яркости в окне

$K \setminus S$	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
1	0	0	1	1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	4	1	0	0	0
3	0	1	0	0	0	0	0	0	0

$Q(2, 5) = 1$ пиксель яркостью 2,
окруженный пятью такими же соседями

Текстурные признаки на основе NGLDM

38

□ Сумма матрицы (вспомогательный параметр):

$$\Sigma_Q = \sum_{k=1}^K \sum_{s=1}^S Q(k, s)$$

□ Выразительность малых значений s (Small Number Emphasis):

$$SNE = \frac{1}{\Sigma_Q} \sum_{k=1}^K \sum_{s=1}^S \frac{1}{s^2} Q(k, s)$$

□ Выразительность больших значений s (Large Number Emphasis):

$$LNE = \frac{1}{\Sigma_Q} \sum_{k=1}^K \sum_{s=1}^S s^2 Q(k, s)$$

□ Неоднородность яркости (Number Nonuniformity):

$$NN = \frac{1}{\Sigma_Q} \sum_{k=1}^K \left(\sum_{s=1}^S Q(k, s) \right)^2$$

□ Момент 2-го порядка (Second Moment):

$$SM = \frac{1}{\Sigma_Q} \sum_{k=1}^K \sum_{s=1}^S Q(k, s)^2$$

□ Энтропия (Entropy):

$$ENT = -\frac{1}{\Sigma_Q} \sum_{k=1}^K \sum_{s=1}^S Q(k, s) \log(Q(k, s))$$

Матрица локальных отклонений яркости

Neighbourhood grey tone difference matrix, NGTDM

Neighbourhood grey tone difference matrix (NGTDM)

40

- Для каждого пикселя (x, y) с интенсивностью i , рассчитывается **среднее** значение интенсивности его **соседей** в окне радиуса d , не включая его самого:

$$A_i(x, y) = \frac{1}{S-1} \sum_{m=-d}^d \sum_{n=-d}^d I(x+m, y+n) \quad S = (2d+1)^2$$

- Вычисляется вспомогательная матрица модулей разности интенсивности пикселя и средней интенсивности его соседей: $s_i(x, y) = |i - A_i(x, y)|$

- Значения s_i для одного и того же тона i суммируются: $s_i = \sum s_i(x, y)$

i	NGTDM(i) = s_i
0	1.5
1	0.75
2	2.25
3	1.875

$A_1(1, 1) = 7/8, s_1(1, 1) = |1 - 0.875| = 0.125$
 $A_1(1, 2) = 13/8, s_1(1, 2) = |1 - 1.625| = 0.625$
 $A_2(1, 3) = 14/8, s_2 = |2 - 1.75| = 0.25$
 $A_0(2, 1) = 12/8, s_0 = |0 - 1.5| = 1.5$
 $A_2(2, 3) = 13/8, s_2 = |2 - 1.625| = 0.375$
 $A_2(2, 2) = 13/8, s_2 = |2 - 1.625| = 0.375$
 $A_2(3, 3) = 11/8, s_2 = |2 - 1.375| = 0.625$
 $A_2(3, 2) = 11/8, s_2 = |2 - 1.375| = 0.625$
 $A_3(3, 1) = 9/8, s_3 = |3 - 1.125| = 1.875$

$s_0 = s_0(2, 1) = 1.5$
 $s_1 = s_1(1, 1) + s_1(1, 1) = 0.75$
 $s_2 = s_2(1, 3) + s_2(2, 2) + s_2(2, 3) + s_2(3, 2) + s_2(3, 3) = 2.25$
 $s_3 = s_3(3, 1) = 1.875$

Вспомогательные построения

41

- Пусть N_i — число пикселей с тоном i на изображении без рамки шириной d .
- Площадь изображения без рамки шириной d :

$$S = (W - 2d)(H - 2d)$$

- Тогда вероятность тона i :

$$p_i = \frac{N_i}{S}$$

- Пусть G_h — высший уровень серого:

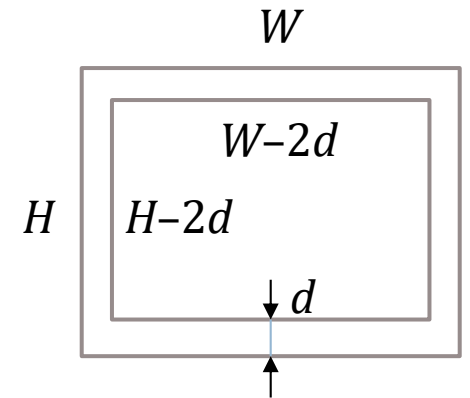
$$G_h = \max_{(x,y)} I(x, y)$$

- Пусть N_g — число различных серых тонов на изображении (число $N_i \neq 0$):

$$N_g = \sum_{i=0}^{G_h} Q_i,$$

где

$$Q_i = \begin{cases} 1, & \text{если } N_i \neq 0 \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$



Текстурные признаки на основе NGTDM

42

- Грубость текстуры (Coarseness):
 - Чем больше, тем более груба текстура (малые разности тонов)
- Контраст (Contrast):
 - Высокий контраст = большая разница между оттенками соседних участков
- Насыщенность (Busyness):
 - Быстрые переходы тонов между соседями
- Сложность (Complexity):
 - Множество примитивов, с разной средней яркостью
- Сила (strength):
 - Хорошо различимые примитивы, легко обозначаемые визуально

$$COS = \left(\varepsilon + \sum_{i=0}^{G_h} p_i s_i \right)^{-1} \quad \varepsilon = 1$$

$$CON = \left(\frac{1}{N_g (N_g - 1)} \sum_{i=0}^{G_h} \sum_{j=0}^{G_h} p_i p_j (i - j)^2 \right) \left(\frac{1}{S} \sum_{i=0}^{G_h} s_i \right)$$

$$BUS = \left(\sum_{i=0}^{G_h} p_i s_i \right) \left(\sum_{i=0}^{G_h} \sum_{j=0}^{G_h} |i \cdot p_i - j \cdot p_j| \right)^{-1} \quad p_i \neq 0, p_j \neq 0$$

$$COM = \frac{1}{S} \sum_{i=0}^{G_h} \sum_{j=0}^{G_h} |i - j| \frac{p_i s_i + p_j s_j}{p_i + p_j} \quad p_i \neq 0, p_j \neq 0$$

$$STR = \left(\sum_{i=0}^{G_h} \sum_{j=0}^{G_h} (p_i + p_j) (i - j)^2 \right) \left(\varepsilon + \sum_{i=0}^{G_h} s_i \right)^{-1} \quad p_i \neq 0, p_j \neq 0$$

43

Гистограмма направленных градиентов

Histogram of oriented gradients, HOG

Гистограмма направленных градиентов

44

- Вычисляются матрицы градиентов G_x и G_y с помощью какого-либо контурного оператора.
- Вычисляются матрицы модулей и направлений градиента в каждом пикселе:

$$G(x, y) = \sqrt{G_x(x, y)^2 + G_y(x, y)^2}$$
$$\theta(x, y) = \arctan\left(\frac{G_y(x, y)}{G_x(x, y)}\right)$$

- Изображение разбивается на небольшие ячейки (например, 8×8 пикселей). В каждой ячейке строится гистограмма направленных градиентов:
 - ▣ Обычно используется 9 интервалов, которые покрывают диапазон углов от 0 до 180 градусов с шагом $\Delta\theta = 20$ градусов.
 - ▣ Если $\theta(x, y)$ попадает в интервал $[\theta_k, \theta_{k+1}]$, то соответствующее значение гистограммы обновляется следующим образом:

$$h_k = G(x, y) \cdot \left(1 - \frac{\theta(x, y) - \theta_k}{\Delta\theta}\right)$$
$$h_{k+1} = G(x, y) \cdot \left(\frac{\theta(x, y) - \theta_k}{\Delta\theta}\right)$$

- Векторный текстурный признак можно нормировать:

$$H_{norm} = \frac{H}{\sqrt{H \cdot H^T + \epsilon}}$$

Сравнение гистограмм

45

- Для сравнения гистограмм направленных градиентов применимы те же признаки, что и для гистограмм яркости:
 - Среднее
 - Дисперсия
 - Скошенность
 - Эксцесс
 - Перцентили
 - Коэффициент разброса
 - Квартильный коэффициент дисперсии
 - Энтропия
 - Однородность
 - Максимальный градиент гистограммы и соответствующее значение k
 - Минимальный градиент гистограммы и соответствующее значение k

46

Локальные двоичные шаблоны

Local binary patterns

Локальные двоичные шаблоны

47

- Для каждого пикселя (x, y) с интенсивностью $I(x, y)$ рассматривается окружность радиуса R вокруг этого пикселя. На этой окружности выбираются P равномерно распределенных точек.

$$LBP_{P,R}(x, y) = \sum_{p=0}^{P-1} s(I(p) - I(c)) \cdot 2^p$$

- Здесь
 - $I(c)$ — интенсивность центрального пикселя $c(x, y)$,
 - $I(p)$ — интенсивность p -го соседнего пикселя,
 - функция $s(z)$ определяется как:

$$s(z) = \begin{cases} 1, & z \geq 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

- Гистограмма $H(LBP)$ может быть представлена как:

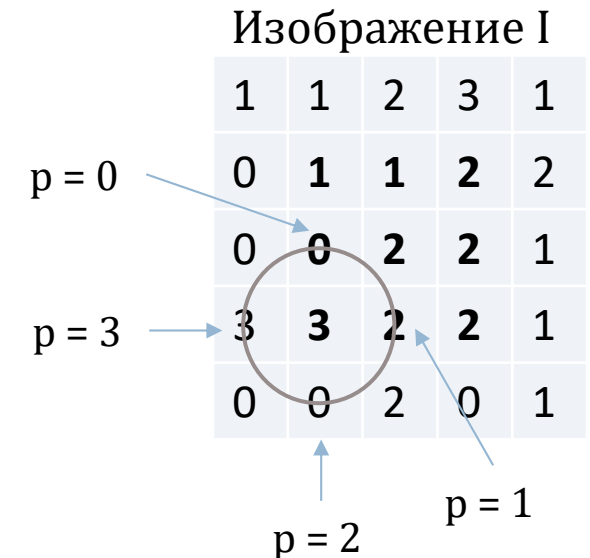
$$H(LBP) = [h_0, h_1, \dots, h_{2^P-1}]$$

где h_i — количество пикселей с значением LBP равным i .

Пример расчётов LBP

48

- Для $R=1$ выберем 4 соседних точки по компасу: N, E, S, W.
- Пронумеруем их по часовой стрелке, начиная с верхней от 0 до 3.
- Тогда $LBP_{4,1}$ представляет собой 4-х битный код (число $[0..15]$)
- Для примера рассчитаем LBP для центрального пикселя $s(3, 1)$ яркостью $I(c) = 3$:
 - $s(I(0) - I(c)) = s(0 - 3) = s(-3) = 0$
 - $s(I(1) - I(c)) = s(2 - 3) = s(-1) = 0$
 - $s(I(2) - I(c)) = s(0 - 3) = s(-3) = 0$
 - $s(I(3) - I(c)) = s(3 - 3) = s(0) = 1$
 - $LBP_{4,1}(3, 1) = 0 \cdot 2^0 + 0 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^3 = 1000 = 8$
- Построим гистограмму значений LBP с ячейками от 0 до 15.
- Имеем векторный текстурный признак.



Матрица LBP

8		

Сводная таблица признаков

49

Основание расчёта	Признаки
Матрица пространственной смежности Харалика (GLCM)	Angular Moment, Contrast-GLCM, Correlation, Sum of Squares Variance, Inverse Difference Moment, Sum Average, Sum Variance, Sum Entropy, Entropy-GLCM, Difference Variance, Difference Entropy, Information Measure of Correlation 1, Information Measure of Correlation 2, Maximal Correlation Coefficient, Maximum Probability, Diagonal Moment, Dissimilarity, Difference Energy, Inertia, Inverse Difference Moment, Sum Energy, Cluster Shade, Cluster Prominence
Матрица длин серий (GLRLM)	Small Run Emphasis, Long Run Emphasis, Gray-Level Nonuniformity, Run Length Nonuniformity, Run Percentage, Low Gray-Level Emphasis, High Gray-Level Emphasis, Short Run Low Gray-Level Emphasis, Short Run High Gray-Level Emphasis, Long Run Low Gray-Level Emphasis, Long Run High Gray-Level Emphasis
Матрица локальной неоднородности яркости (NGLDM)	Small Number Emphasis, Large Number Emphasis, Number Nonuniformity, Second Moment, Entropy-NGL
Вектор локальных отклонений яркости (NGTDM)	Coarseness, Contrast, Busyness, Complexity, Strength
Гистограмма яркости	Max, Mean, Min, Skewness, Kurtosis, Energy (Uniformity), Entropy, Standard Deviation, Coefficient of Variation, Quartile Coefficient of Dispersion, Max Gradient, Min Gradient
Гистограмма локальных двоичных шаблонов LBP	
Гистограмма направленных градиентов (HOG)	Max, Mean, Min, Skewness, Kurtosis, Energy (Uniformity), Entropy, Standard Deviation, Coefficient of Variation, Quartile Coefficient of Dispersion, Max Gradient, Min Gradient

Классификация в пространстве текстурных признаков

50

- Пример системы координат для визуализации:
 - ▣ Ось X: значения признака «локальная однородность» для компоненты Y цветного пространства XYZ
 - ▣ Ось Y: значения признака «момент инерции» для компоненты B цветного пространства LAB (положение цвета в диапазоне от синего до желтого).
 - ▣ Для получения XYZ из RGB читать тут: http://www.brucelindbloom.com/index.html?Eqn_RGB_XYZ_Matrix.html
 - ▣ Возможно, понадобится гамма-коррекция

51

Фрактальные методы анализа

TODO

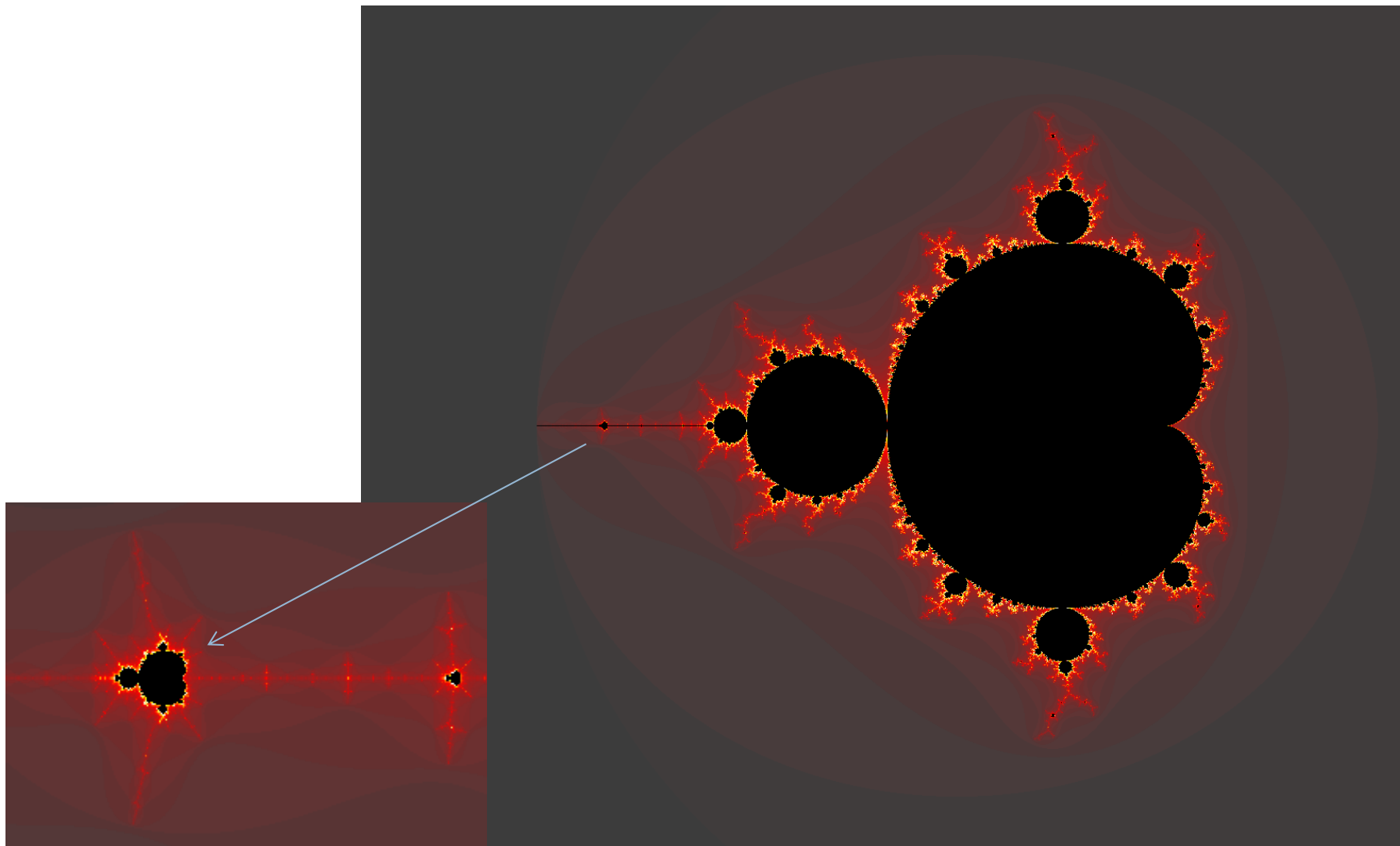
Фрактальные методы анализа

52

- Фрактальные методы анализа текстурных областей изображений основаны на том, что текстура представляет собой фрактал — структуру, состоящая из частей, которые в каком-то смысле подобны целому.
- Многие кривые и поверхности статистически самоподобны, то есть каждая часть может считаться изображением целого в уменьшенном виде.
- Основной особенностью фрактальных характеристик является то, что изображения искусственных и природных объектов имеют сильно различающиеся фрактальные размерности.
- Для сегментации используются характеристики, по которым вычисляется размер фрактала.

Множество Мандельброта

53



Оценка размера фрактала

54

- Производится оценка логарифма некоторой характеристики яркостного компонента $f(L_i)$ изображения для серии размеров шагов s_i .
- Строится линейная выборочная регрессия логарифма $f(L_i)$ от логарифма шага:
 - ▣ $y = \theta_0 + \theta_1 x$,
 - ▣ Где $y = \log[f(L)]$, $x = \log s$
- По значениям, полученным при изменении шага в диапазоне допустимых значений,
- Оцениваются коэффициенты θ_0 и θ_1 , минимизирующие средний квадрат отклонения

$$\hat{\theta} = \begin{bmatrix} \hat{\theta}_0 \\ \hat{\theta}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left(\sum x_i^2 \sum y_k - \sum x_i \sum x_k y_k \right) / \left(N \sum x_i^2 - \left(\sum x_i \right)^2 \right) \\ \left(N \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_k \right) / \left(N \sum x_i^2 - \left(\sum x_i \right)^2 \right) \end{bmatrix}$$

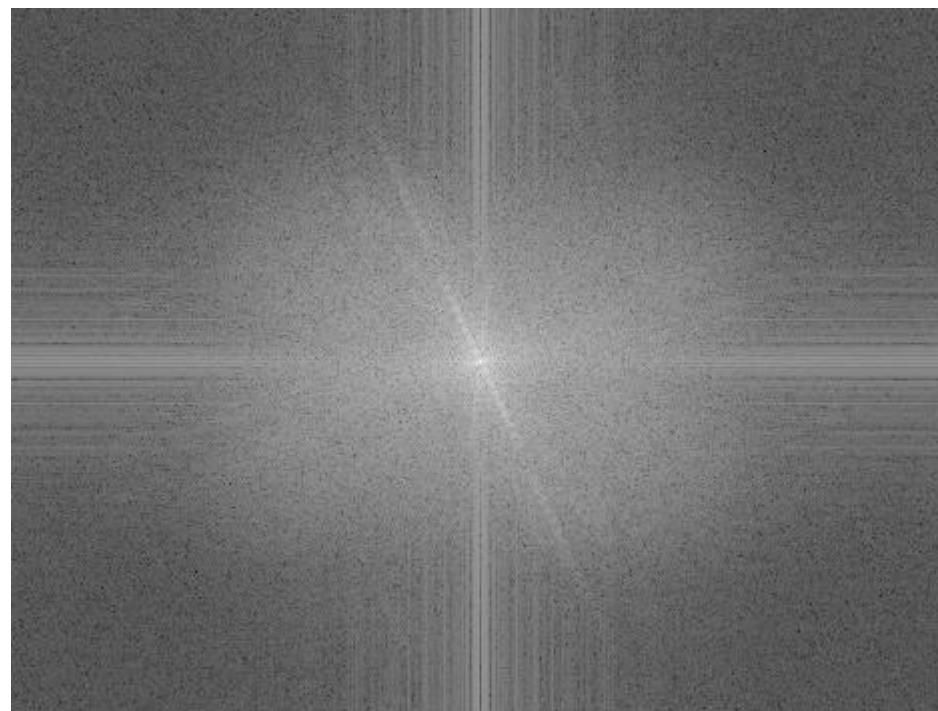
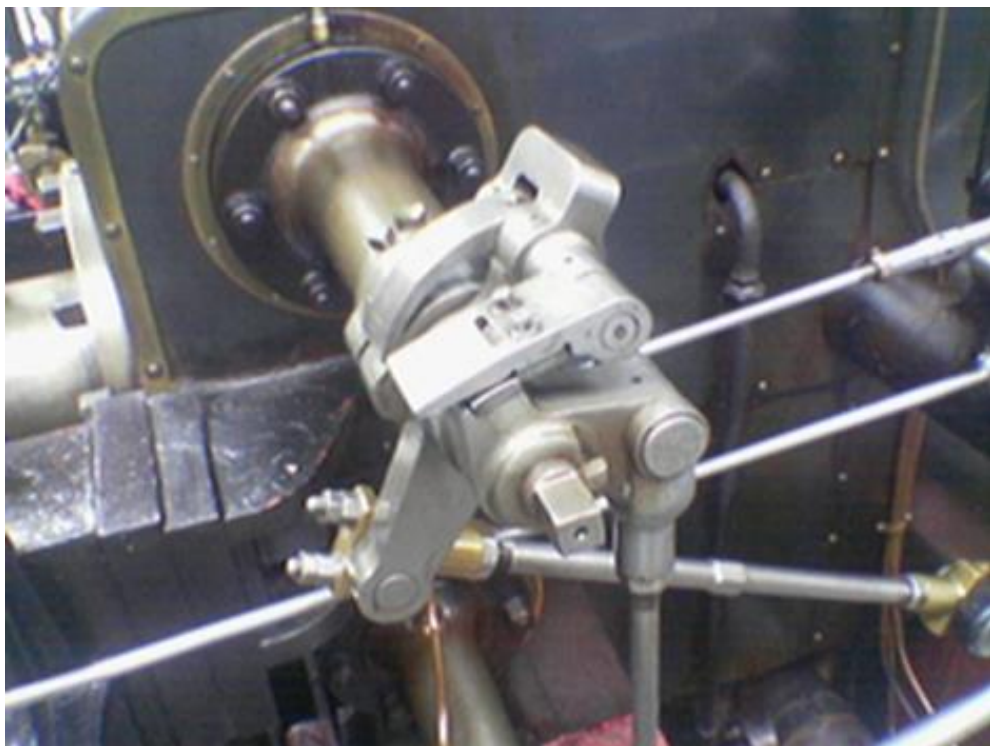
55

Спектральные методы анализа

TODO

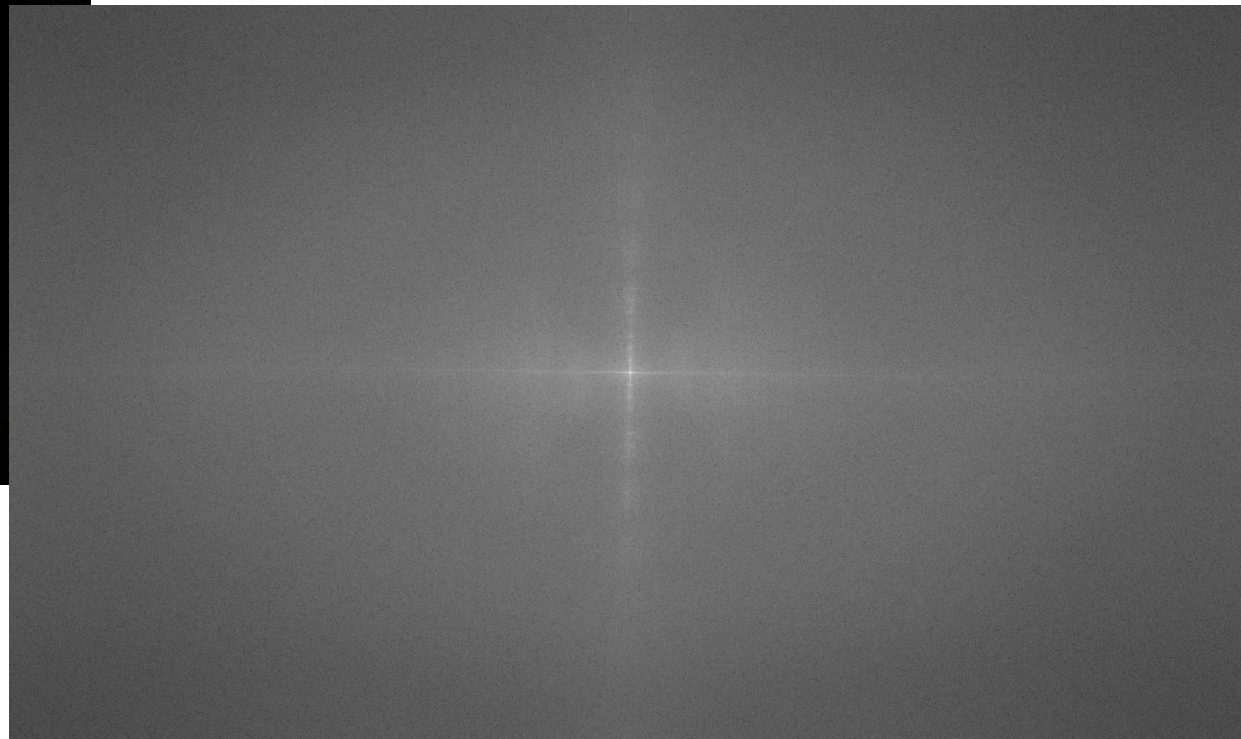
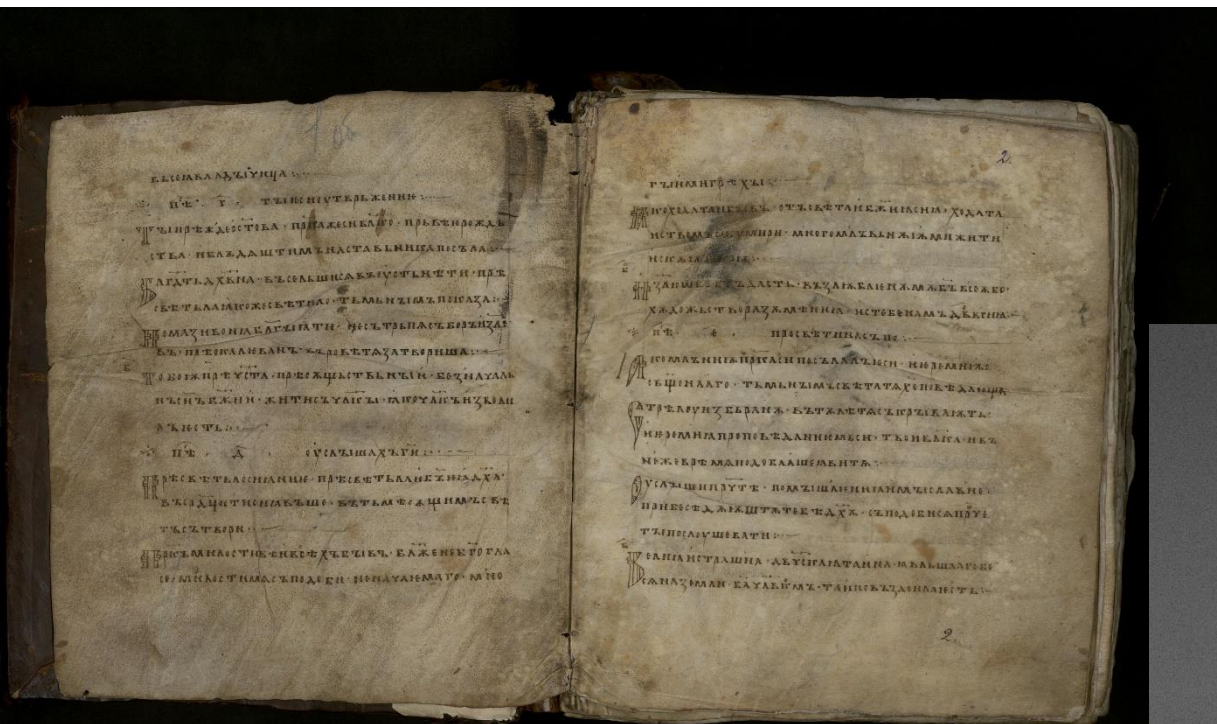
Пример спектрограммы

56



Пример спектрограммы

57



Спектральные признаки

58

- Спектральные меры текстур основаны на спектре Фурье, который идеально подходит для описания направленности присутствующих в изображении периодических и квазипериодических двумерных структур.
- Спектральная текстура характеризуется наличием частичной информации о производных элементах, в частности, об их размерах, которая интерпретируется в терминах пространственной частоты.
- Размер зерна текстуры пропорционален пространственному периоду. Поэтому:
 - Область крупнозернистой текстуры должна давать спектр Фурье, энергия которого сосредоточена на низких пространственных частотах.
 - Для областей мелкозернистой текстуры энергия спектра концентрируется на высоких пространственных частотах.

Что почитать

59

- Методы, основанные на вычислении матрицы Харалика
 - ▣ Харалик Р.М. Статистический и структурный подходы к описанию текстур. ТИИЭР. 1979. Т. 67. № 5. С. 98-120.].
- Методы, описывающие текстуры длинами серий
 - ▣ Ковалев В.А. Анализ текстуры трехмерных медицинских изображений. Минск: Белорусская наука. 2008. 263 с.
- Методы, использующие измерение пространственной частоты
 - ▣ Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. Москва: Техносфера. 2005. 1072 с.
- Методы, основанные на вычислении количества перепадов на единицу площади изображения
 - ▣ Мицель А.А., Колодникова Н.В., Протасов К.Т. Непараметрический алгоритм текстурного анализа аэрокосмических снимков. Известия Томского политехнического университета. 2005. Т. 308. № 1. С. 65-70
- NGLDM
 - ▣ Sun Ch., Wee W. Neighboring gray level dependence matrix for texture classification. Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 23(3):341–352, sep 1983.
- NGTDM
 - ▣ Amadasun M., King R. Textural features corresponding to textural properties. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 19(5):1264–1273, 1989. [doi:10.1109/21.44046](https://doi.org/10.1109/21.44046).

Что почитать

60

- Шитова О.В., Пухляк А.Н., Дроб Е.Н. Анализ методов сегментации текстурных областей изображений в системах обработки изображений // Научные ведомости, 2014 № 8 (179). Выпуск 30/1, с. 182–188
- Фраленко В. П. Методы текстурного анализа изображений, обработка данных дистанционного зондирования // Программные системы: теория и приложения № 4(22), 2014, с. 19–39
- Способ распознавания изображения текстуры клеток
<http://www.findpatent.ru/patent/238/2385494.html>
- Троицкий А.К. Визуализация текстурных характеристик изображений на базе матрицы Харалика [<http://sv-journal.org/2016-3/04/ru/index.php?lang=ru>]
- Морозов А.Д. Введение в теорию фракталов. М.: Современная математика, 2002. — 57 с.
- Шапиро Л., Дж. Стокман. Компьютерное зрение. М.: БИНОМ, 2006. — 752 с.
- Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. Издание 3-е, исправленное и дополненное. Москва: Техносфера, 2012. — 1104 с.

Что почитать

61

- <https://www.lifexsoft.org/index.php/resources/19-texture/radiomic-features/67-neighborhood-grey-level-different-matrix-ngldm>
- L.H. Siew; R.M. Hodgson; E.J. Wood Texture measures for carpet wear assessment IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (Volume: 10, Issue: 1, January 1988)
- <https://stackoverflow.com/questions/25019840/neighbors-gray-level-dependence-matrix-ngldm-in-matlab>
- <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.nature.com%2Farticles%2Fs41598-018-31806-7&psig=AOvVaw3tD0XpVe4UwUwFIZlPf5vX&ust=1584304698293000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCJieuorqmugCFQAAAAAdAAAAABAD>
- <https://cyberleninka.ru/article/n/raspoznavanie-izobrazheniy-na-osnove-teksturnyh-priznakov-haralika-i-iskusstvennyh-neyronnyh-setey>
- <https://www.nature.com/articles/s41598-017-08764-7/tables/5>
- <https://stackoverflow.com/questions/25019840/neighbors-gray-level-dependence-matrix-ngldm-in-matlab>
- Денис Перевалов – Анализ текстур <https://ru.scribd.com/doc/115002510/opencv-%D0%90-%D0%BD-%D0%B0-%D0%BB-%D0%B8-%D0%B7-%D1%82-%D0%B5-%D0%BA-%D1%81-%D1%82-%D1%83-%D1%80>
- The image biomarker standardisation initiative. Image Features https://ibsi.readthedocs.io/en/latest/03_Image_features.html

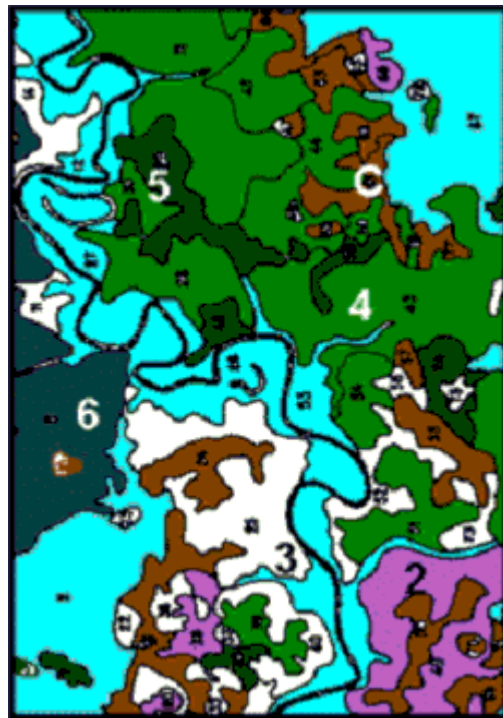
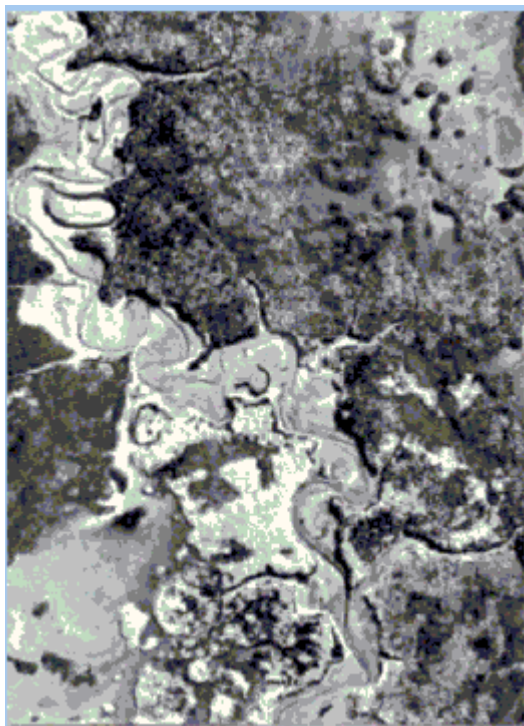
Сегментация

62

- Метод разрастания (выращивания) областей
- Метод нормальных разрезов
- Метод водораздела (WaterShed)
 - ▣ Barnes, R., Lehman, C., Mulla, D., 2014. [Priority-flood: An optimal depression-filling and watershed-labeling algorithm for digital elevation models](#). Computers & Geosciences 62, 117–127.
- MeanShift
 - ▣ Comaniciu, Dorin and Peter Meer. “Mean shift analysis and applications.” Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on Computer Vision 2 (1999): 1197-1203 vol.2.
 - ▣ D. Comaniciu, P. Meer Mean Shift: A Robust Approach Toward Feature Space Analysis. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, pp. 603–619.
 - ▣ D. Comaniciu, V. Ramesh, P. Meer Real-Time Tracking of Non-Rigid Objects Using Mean Shift, Conference on CVPR, 2000, vol. 2, pp. 1-8.
- FloodFill
- GrubCut
 - ▣ Rother, Kolmogorov, Blake “GrabCut” — Interactive Foreground Extraction using Iterated Graph Cuts *in* ACM Transactions on Graphics · August 2004

Пример результата анализа

63



- Изображение лесного ландшафта и результат его автоматического текстурного анализа
 - ▣ большие цифры — номера фаз кедровников,
 - ▣ 6 — чередование участков кедровников шестой фазы и сосняков,
 - ▣ C — сосняки,
 - ▣ светло-серый оттенок — луговая пойма реки и болота