

Вычисление матрицы распределения градиентов для дальнейшей обработки  
текстурных оптических и радиолокационных изображений

А.А. Потапов<sup>1</sup>, Ф.Ф. Лазько<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН

<sup>2</sup>Московский физико-технический институт (государственный университет)

Обнаружение малоcontrastных целей на фоне земных покровов в случае, когда отношение сигнал/шум близко к единице, является одной из основных задач в современной радиолокации. При этом основную роль играет понятие текстуры. Как известно, текстура описывает пространственные свойства участков изображений земной поверхности с локально однородными статистическими характеристиками. Цель данной работы – расчёт матриц распределения градиентов  $\mathbf{P}$  модельных и реальных изображений для дальнейшего исследования ансамбля текстурных признаков.

Обнаружение и идентификация цели происходит тогда, когда цель затеняет участок фона, изменяя при этом интегральные параметры текстуры. Впервые текстурные признаки предложил Р.М. Харалик в работе [1]. Их общее число – 28 признаков. Все они представлены на рис. 1. Текстурные признаки основаны на статистических характеристиках уровней интенсивности элементов изображения и относятся к вероятностным признакам, случайные значения которых распределены по всем классам природных объектов. Решение о принадлежности текстуры к тому или иному классу может приниматься только на основании конкретных значений признаков данной текстуры. В таком случае принято говорить о сигнатуре текстуры. Классические радиолокационные сигнатуры включают в себя временные, спектральные и поляризационные особенности отраженного сигнала. Сигнатура текстуры – это распределение генеральной совокупности измерений для данной текстуры в сценах такого же типа, как и данная.

**Второй угловой момент**

$$f_1 = \sum_i \sum_j p^2(i, j), \quad p(i, j) = \frac{P(i, j)}{M},$$

$$\sum_i \text{ и } \sum_j \equiv \sum_{i=1}^N \text{ и } \sum_{j=1}^N$$

**Контраст**

$$f_2 = \sum_{n=0}^{N-1} n^2 \left[ \sum_i \sum_j p^2(i, j) \right], \quad |i-j| = n$$

**Коэффициент корреляции**

$$f_3 = \frac{\sum_i \sum_j [ijp(i, j) - m_X m_Y]}{\sigma_X \sigma_Y},$$

$m_X$  и  $m_Y$ ,  $\sigma_X$  и  $\sigma_Y$  – средние значения и среднеквадратические отклонения  $p_X(i)$  и  $p_Y(j)$  соответственно, где

$$p_X(i) = \sum_{j=1}^N p(i, j), \quad p_Y(j) = \sum_{i=1}^N p(i, j)$$

**Дисперсия**

$$f_4 = \sum_i \sum_j (i-m)^2 p(i, j)$$

**Момент обратной разности**

$$f_5 = \sum_i \sum_j \frac{p(i, j)}{1 + (i-j)^2}$$

**Суммарное среднее**

$$f_6 = \sum_{n=2}^{2N} n p_+(n), \quad p_+(n) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N p(i, j) \\ \text{при } i+j=n \text{ и } n=2, 3, \dots, 2N$$

**Суммарная дисперсия**

$$f_7 = \sum_{n=2}^{2N} (n-f_6)^2 p_+(n)$$

**Суммарная энтропия**

$$f_8 = -\sum_{n=2}^{2N} p_+(n) \log p_+(n)$$

**Энтропия**

$$f_9 = -\sum_i \sum_j p(i, j) \log p(i, j)$$

**Дифференциальная дисперсия**

$$f_{10} = \sum_{n=0}^{N-1} \left[ n - \sum_{m=0}^{N-1} p_-(m) \right]^2 p_-(n), \quad |i-j| = m,$$

$$p_-(n) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N p(i, j) \text{ при } |i-j| = n \text{ и } n=0, 1, \dots, N-1$$

**Дифференциальная энтропия**

$$f_{11} = -\sum_{n=0}^{N-1} p_-(n) \log p_-(n)$$

**Информационная мера корреляции**

$$f_{12} = \frac{f_9 + \sum_i \sum_j p(i, j) \log [p_X(i) p_Y(j)]}{\max \{H(X)H(Y)\}},$$

$$H(X) = -\sum_{i=1}^N p_X(i) \log p_X(i),$$

$$H(Y) = -\sum_{j=1}^N p_Y(j) \log p_Y(j)$$

**Информационная мера**

$$f_{13} = \left( 1 - \exp \left\{ -2 \left[ -\sum_i \sum_j p_X(i) p_Y(j) \log [p_X(i) p_Y(j)] - f_9 \right] \right\} \right)^{\frac{1}{2}}$$

**Максимальный коэффициент корреляции**

$$f_{14} = \left( \begin{array}{l} \text{второе наибольшее} \\ \text{собственное значение} \end{array} Q \right)^{\frac{1}{2}},$$

$$q(i, j) = \sum_{k=1}^N \frac{p(i, k) p(j, k)}{p_X(i) p_Y(j)} - \text{элемент матрицы } Q$$

**Дисперсии  $f_1$ - $f_{14}$** 

$$f_{15} - f_{28}$$

Рис. 1. Пространственные текстурные признаки  $f_i$ .

При статистическом анализе текстур применяют статистики первого или второго порядков. При использовании статистик второго порядка непосредственно текстурные признаки извлекаются с помощью матриц распределения вероятности пространственной зависимости градации яркости  $\mathbf{P}$ , называемой такие матрицей распределения градиентов или матрицей смежности. Экспериментально показано [1 - 3], что признаки, основанные на

параметрах корреляционных функций, не так хорошо оценивают текстуру изображения, как признаки, определенные по матрице градиентов **P**.

Матрица градиентов **P** является функцией углового расположения пар соседних элементов разрешения, а также функцией расстояния между ними. Угловое расположение, например, для  $d=1$  зададим одним из четырёх квантованных значений угла  $\alpha$ , равных  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ , и  $135^\circ$ , как указано на диаграмме на рис. 2. Для каждого такого направления введём по матрице распределения градиентов **P**, содержащей относительные частоты  $p_{ij}$  наличия на изображении соседних элементов с яркостями  $i, j \in G$ , где  $G = \{1, 2, \dots, N\}$  – множество из  $N$  квантованных значений яркости элементов разрешения. В итоге, получившиеся 4 матрицы размером  $N \times N$  и будут составлять полный ансамбль матриц градиентов.

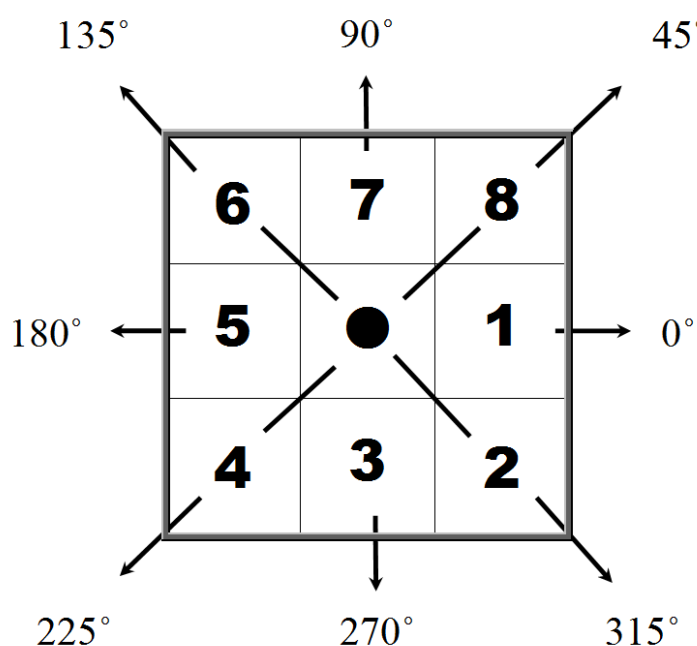


Рис. 2. Диаграмма формирования матрицы распределения градиентов **P**.

В результате обработки модельных и реальных изображений были рассчитаны ансамбли матриц градиентов. В качестве примера реальных изображений были взяты оптические изображения естественных текстур морской поверхности и лиственного леса, представленные на рис. 3. Сами матрицы представлены на рис.4. Расчет матриц градиентов **P** текстурных изображений – первый этап нахождения текстурных признаков. В дальнейшем предполагается установление связи текстурных и фрактальных признаков [2 - 5] различных изображений.

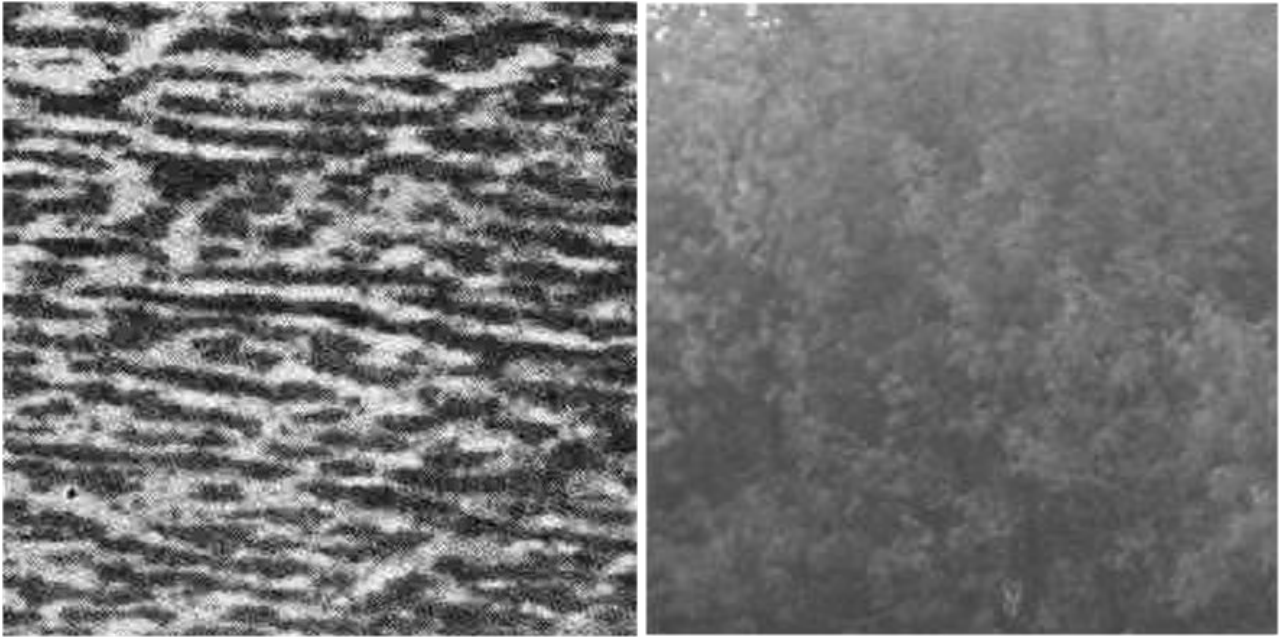


Рис. 3. Примеры естественных структур в оптическом диапазоне: морская поверхность (слева), лиственный лес (справа).

$P_1 (\alpha=0^\circ)$								
	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0,1	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1	0,2	11,9	3,6	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0
2	0,1	3,6	21,7	3,7	0,5	0,1	0,0	0,0
3	0,0	0,4	3,7	11,0	2,8	0,5	0,1	0,0
4	0,0	0,1	0,5	2,8	8,1	2,3	0,3	0,0
5	0,0	0,0	0,1	0,5	2,3	8,3	1,6	0,1
6	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	1,6	4,9	0,3
7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,3

$P_2 (\alpha=45^\circ)$								
	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0,0	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1	0,3	9,5	5,5	0,8	0,1	0,0	0,0	0,0
2	0,1	5,5	17,2	5,5	1,2	0,2	0,0	0,0
3	0,0	0,8	5,5	7,2	3,8	1,0	0,1	0,0
4	0,0	0,1	1,2	3,8	5,2	3,3	0,6	0,0
5	0,0	0,0	0,2	1,0	3,3	5,8	2,3	0,2
6	0,0	0,0	0,0	0,1	0,6	2,3	3,8	0,4
7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,4	0,1

$P_3 (\alpha=90^\circ)$								
	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0,1	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1	0,2	10,8	4,6	0,5	0,1	0,0	0,0	0,0
2	0,1	4,6	19,1	5,0	0,8	0,1	0,0	0,0
3	0,0	0,5	5,0	8,4	3,7	0,7	0,1	0,0
4	0,0	0,1	0,8	3,7	6,0	3,1	0,4	0,0
5	0,0	0,0	0,1	0,7	3,1	6,5	2,2	0,1
6	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4	2,2	4,2	0,4
7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4	0,2

$P_4 (\alpha=135^\circ)$								
	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0,0	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1	0,3	9,7	5,4	0,7	0,1	0,0	0,0	0,0
2	0,1	5,4	17,6	5,4	1,1	0,2	0,0	0,0
3	0,0	0,7	5,4	7,6	3,8	0,9	0,1	0,0
4	0,0	0,1	1,1	3,8	5,4	3,3	0,5	0,0
5	0,0	0,0	0,2	0,9	3,3	6,0	2,4	0,2
6	0,0	0,0	0,0	0,1	0,5	2,4	3,8	0,4
7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,4	0,1

$P_1 (\alpha=0^\circ)$								
	0	4	5	6	7	8	9	15
0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	1,5	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0
5	0	1,3	17,1	3,3	0,0	0,0	0,0	0
6	0	0,0	3,3	22,4	3,3	0,0	0,0	0
7	0	0,0	0,0	3,3	17,7	2,4	0,0	0
8	0	0,0	0,0	0,0	2,4	11,7	1,3	0
9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	4,4	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0

$P_2 (\alpha=45^\circ)$								
	0	4	5	6	7	8	9	15
0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	1,1	1,6	0,1	0,0	0,0	0,0	0
5	0	1,6	15,9	4,1	0,1	0,0	0,0	0
6	0	0,1	4,1	20,5	4,2	0,1	0,0	0
7	0	0,0	0,1	4,2	16,1	3,0	0,0	0
8	0	0,0	0,0	0,1	3,0	10,6	1,7	0
9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	3,8	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0

$P_3 (\alpha=90^\circ)$								
	0	4	5	6	7	8	9	15
0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	1,4	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0
5	0	1,3	16,9	3,4	0,0	0,0	0,0	0
6	0	0,0	3,4	22,1	3,5	0,0	0,0	0
7	0	0,0	0,0	3,5	17,5	2,5	0,0	0
8	0	0,0	0,0	0,0	2,5	11,5	1,4	0
9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	4,2	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0

$P_4 (\alpha=135^\circ)$								
	0	4	5	6	7	8	9	15
0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	1,1	1,6	0,1	0,0	0,0	0,0	0
5	0	1,6	15,8	4,2	0,1	0,0	0,0	0
6	0	0,1	4,2	20,4	4,3	0,1	0,0	0
7	0	0,0	0,1	4,3	16,0	3,1	0,1	0
8	0	0,0	0,0	0,1	3,1	10,5	1,7	0
9	0	0,0	0,0	0,0	0,1	1,7	3,7	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0

Рис. 4. Матрицы распределения градиентов  $P$  для морской поверхности (слева) и для лиственного леса (справа).

## Литература

1. *Haralick R.M., Shanmugan K., Dinstein I.* Textural Features for Image Classification // IEEE Trans. – 1973. – V. SMC-3, № 6. – P. 610 – 621.
2. *Андреев Г.А., Потанов А.А. и др.* Сравнительный анализ статистических признаков оптических и радиоизображений почвенно-растительных объектов // Исследование Земли из космоса. – 1990. – № 1. – С. 112 – 121.
3. *Потанов А.А.* Новые информационные технологии на основе вероятностных текстурных и фрактальных признаков в радиолокационном обнаружении малоконтрастных целей // Радиотехника и электроника. – 2003. – Т. 48, № 9. – С. 1101 – 1119.
4. *Potapov A.A.* The Textures, Fractal, Scaling Effects and Fractional Operators as a Basis of New Methods of Information Processing and Fractal Radio Systems Designing // Proc. SPIE. – 2009. – V. 7374. – P. 73740E-1 – 73740E-14.
5. *Потанов А.А.* Фракталы в радиофизике и радиолокации: Топология выборки. – М.: Университетская книга, 2005. – 848 с.