

АНАЛИЗ ВИЗУАЛЬНО-ОДНОРОДНЫХ ОБРАЗЦОВ МНОГОСПЕКТРАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ КАК ОДИН ИЗ ПОДХОДОВ В СОВРЕМЕННОМ ЦИФРОВОМ КАРТОГРАФИРОВАНИИ

Боечко К.А.

*Институт водных и экологических проблем СО РАН
656038, г. Барнаул, ул. Молодёжная, 1
Тел. (3852)667893
[e-mail:bka@iwep.asu.ru](mailto:bka@iwep.asu.ru)*

Целью исследования являлось применение статистических характеристик при анализе однородных текстур в качестве характеристик визуального содержания анализируемой текстуры. Было предложено использование с этой целью статистических характеристик первого и второго порядка, вычисляемые на основе гистограмм соответственно первого и второго порядков, соответствующих анализируемой текстуре. В процессе работы было исследовано девять текстурных образцов, полученных с космического снимка высокого разрешения. Было установлено, что данные статистические характеристики позволяют определять визуальное содержание исследуемой однородной текстуры, а также были выбраны наиболее характерные, наиболее эффективно учитывающие визуальные особенности конкретного изображения.

Одной из важнейших проблем на сегодняшний день является изучение антропогенных изменений на поверхности Земли. Важнейшую роль в этих исследованиях играет изучение и анализ информации, получаемой при помощи аэрофотосъёмки и снимков, сделанных из космоса. В связи с этим встаёт задача поиска данных по заданным визуальным характеристикам в базе данных изображений (БДИ), выделение на изображении различных областей, необходимых для конкретного исследования – в том числе и участков земной поверхности, претерпевших антропогенное воздействие и изменение.

На сегодняшний день принцип работы большинства современных поисковых систем БДИ основывается на следующей концепции: поиск осуществляется в основном по базе метаданных, способных дать информацию об имеющихся в БДИ данных на конкретный регион. С точки зрения пользователя, доступ к данным БДИ является составляющей частью следующих процессов:

1. процесса поиска данных;
2. оценки соответствия этих данных потребностям пользователя;
3. непосредственно их использования [5].

Очевидным является то, что система поиска изображений земной поверхности в БДИ, предусматривающая анализ визуального содержания этих изображений, позволила бы свести к минимуму этап оценки пользователем соответствия результатов поиска конкретным пользовательским задачам и, следовательно, существенно ускорить процесс поиска. Кроме того, подобная система может иметь следующие преимущества:

1. Возможность задания визуальных характеристик в качестве критериев поиска. Такое расширение диапазона условий поиска приведёт к существенному повышению релевантности поиска данной системы, а также к появлению возможности доступа к изображениям, непосредственно пригодным для решения конкретных пользовательских задач;
2. Возможность поиска и доступа к данным БДИ не с помощью хранимой базы метаданных, а с помощью математических описаний стандартных текстур, создаваемых на основе вычисления значимых клик этих текстур. В этом случае значительно снижается степень значимости базы метаданных в процессе работы с БДИ (в т.ч. и при поиске данных).

Большинство современных методов анализа изображений, используемых в современном цифровом картографировании, при всех своих достоинствах имеют один общий существенный недостаток: в большей части методов не учитываются содержательные признаки изображения, или, другими словами, отсутствует связь алгоритмов распознавания со смысловым содержанием распознаваемого объекта. В качестве примера можно рассмотреть общий принцип алгоритмов кластеризации (разбиения визуального объекта на группы точек - кластеры). Принцип состоит в том, что из всей совокупности точек выбираются точки – центры будущих кластеров, после чего начинается итеративный процесс вычисления остальных элементов каждого кластера. Очевидно, что точность результата работы данного алгоритма зависит от многих факторов – прежде всего, от способа выбора центров кластеров, от выбора критерия принадлежности точки конкретному кластеру, критерия точности и т.д. Различные параметры дают различные по точности результаты. Соответственно, наибольшую точность могут дать методы, максимально свободные от субъективного выбора параметров расчёта пользователем.

В качестве альтернативы предлагается использование описательных характеристик визуально-однородных текстурных образцов. Будем рассматривать текстуру, как случайную величину с определённым распределением вероятностей сигналов. Соответственно, для анализа текстурного образца необходимо вычислить и обработать определённые статистические характеристики. С этой целью были выбраны характеристики, вычисляемые на основе гистограмм конкретного текстурного изображения [11]. Для вычисления характеристик в данном случае использовались одномерная и двумерная гистограммы.

Одномерная гистограмма – это гистограмма, построенная для отдельных элементов раstra:

$$\text{Hist1}_{mn} = \{ \text{Hist1}_{mn}(v) : v \in V \} \quad (1)$$

где $v \in V$ - значение сигнала в точке изображения (m, n)

Двумерная гистограмма – гистограмма, построенная для пар элементов раstra (клик):

$$\text{Hist2}_{mn}(r, \Theta) = \{ \text{Hist2}_{mn}(v, v', r, \Theta) : v, v' \in V \} \quad (2)$$

$v, v' \in V$ – значения сигнала в паре точек изображения

r – расстояние между соседними точками

Θ - направление «соседства» пары точек.

Главной особенностью данной работы заключается то, что данные характеристики позволяют учитывать связи рассчитываемых параметров между собой. Параметрами в данном случае являются значения сигналов в паре соседних точек в случае двумерной гистограммы. Таким образом, эта пара рассматривается как нечто единое и целостное. Эта целостная структура и называется кликом.

На основе данных гистограмм вычислялись, соответственно, следующие статистические характеристики первого и второго порядков.

Характеристики первого порядка:

- Среднее значение сигнала

$$\text{feature1} = \sum_{v \in V} v \text{ hist1}_{mn}(v);$$

- Дисперсия сигнала;

$$\text{feature2} = \sum_{v \in V} (v - \text{feature1})^2 \text{ hist1}_{mn}(v)$$

- Второй момент.

$$\text{feature3} = \sum_{v \in V} (\text{hist1}_{mn}(v))^2$$

Характеристики второго порядка:

- Средняя мера однородности;

$$\text{feat1}(r, \Theta) = \sum_{v \in V} \sum_{v' \in V} (\text{hist2}_{mn}(v, v', r, \Theta))^2$$

- Корреляционная мера однородности;

$$\text{feat2}(r, \Theta) = \sum_{v \in V} \sum_{v' \in V} v \text{hist2}_{mn}(v, v', r, \Theta)$$

- Дисперсионная мера однородности;

$$\text{feat3}(r, \Theta) = - \sum_{v \in V} \sum_{v' \in V} \text{hist2}_{mn}(v, v', r, \Theta) (v - \text{feat1}(r, \Theta))$$

- Энтропия распределения;

$$\text{feat4}(r, \Theta) = \sum_{v \in V} \sum_{v' \in V} \text{hist2}_{mn}(v, v', r, \Theta)^x \log(\text{hist2}_{mn}(v, v', r, \Theta))$$

- Максимальная вероятность;

$$\text{feat5}(r, \Theta) = \max_{v, v'} \text{hist2}_{mn}(v, v', r, \Theta)$$

- Контраст;

$$\text{feat6}(r, \Theta) = \sum_{v \in V} \sum_{v' \in V} |v - v'|^2 \text{hist2}_{mn}(v, v', r, \Theta)$$

- Обратный момент разности.

$$\text{feat7}(r, \Theta) = \sum_{v \in V} \sum_{v' \in V} \frac{\text{hist2}_{mn}(v, v', r, \Theta)}{1 + |v - v'|^2}$$

Для вычисления данных характеристик была разработана и написана специальная программа на языке Visual Basic. С её помощью были получены характеристики для однородных текстур, взятых со снимка высокого разрешения (2,8 м), сделанного со спутника QuickBird. Территория, изображённая на снимке – окрестности г. Мариинска (Кемеровская область), дата съёмки – 17 июля 2005 года.

Для вычисления характеристик и их последующего анализа было выделено 10 однородных текстур (рис. 1). Далее были вычислены характеристики для каждого слоя текстуры по всем направлениям клик. Полученные результаты были обобщены при помощи различных расстояний в многомерном пространстве. В результате было получено несколько групп обобщённых характеристик каждой текстуры (табл. 1-7).

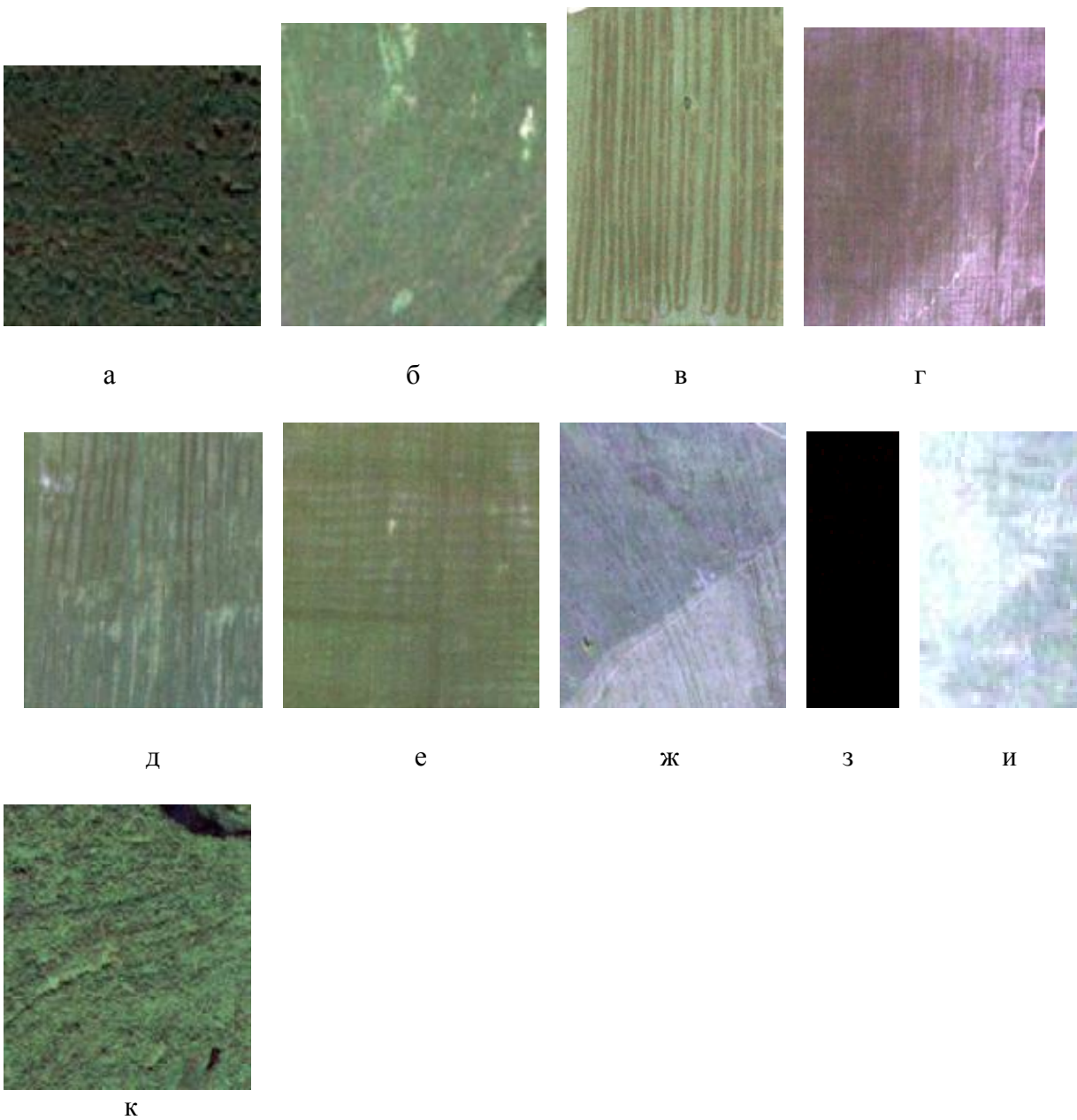


Рис. 1 Текстуры, выбранные для анализа: а – тайга, б – луг, в – распашка
 г – с/х поле (1), д – с/х поле (2), е – с/х поле (3), ж – с/х поле (4), з – водная поверхность,
 и – садовый участок, к – прибрежный кустарник (ивы)

Таблица 1

Текстура	Евклидово расстояние				Энтропия распределения	Контраст	Обратный момент разности
	Средняя мера однородности	Корреляционная мера однородности	Дисперсионная мера однородности	Энтропия			
Тайга	1,15	56,52	5167,28	0,28	33,15	34,34	
Луг	1,20	164,72	6221,44	0,25	11,96	13,39	
Распашка	1,27	239,66	14146,24	0,24	47,98	49,55	
С/х поле (1)	1,33	191,27	14729,68	0,20	11,47	12,74	
С/х поле (2)	1,35	172,90	10255,69	0,19	9,87	11,04	
С/х поле (3)	1,43	181,07	14064,15	0,16	10,42	11,74	
С/х поле (4)	1,30	213,40	9800,74	0,21	11,07	12,58	
Водная поверхность	1,73	0,13	2460,89	0,00	0,31	2,01	
Садовый участок	1,23	278,95	3583,28	0,26	9,69	10,83	
Прибрежный кустарник	1,13	111,52	8221,33	0,29	40,02	41,47	

Таблица 2

Текстура	Квадрат евклидова расстояния				Энтропия распределения	Контраст	Обратный момент разности
	Средняя мера однородности	Корреляционная мера однородности	Дисперсионная мера однородности	Энтропия			
Тайга	1,34	3199,92	26711216,66	0,08	1218,39	1303,22	
Луг	1,43	27095,48	38724404,18	0,06	158,79	190,63	
Распашка	1,61	57391,50	200193381,05	0,06	2740,51	2880,22	
С/х поле (1)	1,82	36300,82	224605195,38	0,04	141,06	173,46	
С/х поле (2)	1,82	29922,69	105202652,90	0,04	108,08	133,78	
С/х поле (3)	2,04	32749,06	197866802,72	0,03	116,50	148,66	
С/х поле (4)	1,69	45496,02	96090837,92	0,04	136,37	168,05	
Водная поверхность	2,99	0,03	6055746,17	0,00	0,15	3,88	
Садовый участок	1,58	111762,92	3965685,73	0,06	33,94	48,32	
Прибрежный кустарник	1,29	12441,60	67645739,54	0,08	1775,06	1878,87	

Таблица 3

Расстояние Манхэттена
 Расстояние $(x,y)=\sum |x_i - y_i|$

Текстура	Средняя мера однородности	Корреляционная мера однородности	Дисперсионная мера однородности	Энтропия распределения	Контраст	Обратный момент разности
Тайга	1,98	97,91	8564,14	-0,22	54,67	57,17
Луг	2,08	283,55	10746,38	-0,21	18,47	20,78
Распашка	2,18	412,38	24041,77	-0,19	82,35	84,73
С/х поле (1)	2,33	328,65	25755,36	-0,15	17,18	19,86
С/х поле (2)	2,34	297,43	17727,19	-0,16	13,35	16,05
С/х поле (3)	2,46	311,88	24172,92	-0,12	16,25	19,03
С/х поле (4)	2,25	368,81	16816,56	-0,17	17,22	19,62
Водная поверхность	2,99	0,13	4262,30	0,00	0,31	3,31
Садовый участок	2,15	574,16	3262,10	-0,20	7,76	10,38
Прибрежный кустарник	1,94	192,63	13932,71	-0,24	66,17	68,67

Таблица 4

Расстояние Чебышева
 Расстояние $(x,y)=\max |x_i - y_i|$

Текстура	Средняя мера однородности	Корреляционная мера однородности	Дисперсионная мера однородности	Энтропия распределения	Контраст	Обратный момент разности
Тайга	0,80	33,72	3952,14	0,19	23,46	24,31
Луг	0,73	108,20	3937,42	0,15	10,67	11,55
Распашка	0,83	151,86	10162,80	0,16	31,76	32,63
С/х поле (1)	0,83	124,06	9609,73	0,48	9,75	10,42
С/х поле (2)	0,81	114,90	6371,13	0,12	9,52	10,42
С/х поле (3)	0,87	112,63	8997,52	0,12	8,72	9,67
С/х поле (4)	0,81	133,50	6438,82	0,15	9,80	10,72
Водная поверхность	1,00	0,13	1423,26	0,00	0,31	1,31
Садовый участок	0,88	223,59	1606,95	0,18	4,94	5,75
Прибрежный кустарник	0,73	67,92	5697,04	0,21	29,09	29,87

Таблица 5

Метрика Миньковского

$$\text{Расстояние } (x,y) = \left(\sum |x_i - y_i|^p \right)^{1/r}$$

$$p=2, r=3$$

Текстура	Средняя мера однородности	Корреляционная мера однородности	Дисперсионная мера однородности	Энтропия распределения	Контраст	Обратный момент разности
Тайга	1,10	14,78	298,77	0,42	10,25	10,44
Луг	1,13	29,97	338,21	0,40	5,25	5,51
Распашка	1,17	38,63	584,98	0,38	12,84	13,05
С/х поле (1)	1,22	33,10	607,33	0,33	5,03	5,32
С/х поле (2)	1,22	30,99	471,94	0,33	4,64	4,91
С/х поле (3)	1,27	31,95	582,64	0,30	4,81	5,12
С/х поле (4)	1,19	35,71	457,91	0,35	4,91	5,45
Водная поверхность	1,44	0,30	182,20	0,02	0,51	1,57
Садовый участок	1,17	48,09	158,19	0,40	3,10	3,54
Прибрежный кустарник	1,08	23,07	407,35	0,44	11,59	11,78

Таблица 6

Метрика Миньковского

$$\text{Расстояние } (x,y) = \left(\sum |x_i - y_i|^p \right)^{1/r}$$

$$p=3, r=2$$

Текстура	Средняя мера однородности	Корреляционная мера однородности	Дисперсионная мера однородности	Контраст	Обратный момент разности
Тайга	0,96	323,66	298939,97	159,42	167,39
Луг	1,00	1618,46	374476,01	37,99	42,93
Распашка	1,09	2842,20	1315034,80	276,82	287,82
С/х поле (1)	1,19	2011,95	1406522,39	33,85	39,05
С/х поле (2)	1,19	1748,20	791633,31	30,62	35,13
С/х поле (3)	1,30	1863,61	1281061,06	29,33	34,54
С/х поле (4)	1,13	2373,94	747078,28	33,89	38,90
Водная поверхность	1,73	0,07	92757,11	0,21	2,16
Садовый участок	1,10	4701,65	72917,76	12,18	15,43
Прибрежный кустарник	0,92	898,17	582955,22	211,34	220,29

Метрика Миньковского

$$\text{Расстояние } (x,y) = \left(\sum |x_i - y_i|^p \right)^{1/r}$$

$$p=5, r=2$$

Текстура	Средняя мера однородности	Корреляционная мера однородности	Дисперсионная мера однородности	Контраст	Обратный момент разности
Тайга	0,69	10618,61	1073321669,67	4053,98	4355,32
Луг	0,69	159151,00	1368485265,68	447,84	530,10
Распашка	0,82	405769,34	11938895352,71	9869,81	10453,66
С/х поле (1)	0,94	227518,99	12611133144,80	354,44	434,18
С/х поле (2)	0,93	182351,01	4745422379,46	331,65	402,62
С/х поле (3)	1,08	200073,53	10808867573,73	272,50	345,24
С/х поле (4)	0,86	295862,67	4434539636,20	368,98	448,31
Водная поверхность	1,72	0,01	131789175,40	0,10	2,60
Садовый участок	0,86	951420,43	107564892,15	65,04	90,55
Прибрежный кустарник	0,62	58584,58	3043537861,15	6535,35	6935,16

По результатам анализа описательных характеристик визуально-однородных текстурных образцов снимка высокого разрешения можно сделать следующие выводы:

- Для всех вышеперечисленных метрик, кроме расстояния Чебышева, по дисперсионной мере однородности хорошо отличимыми являются распаханые и засеянные поля;
- Практически для всех метрик, кроме расстояния Чебышева и квадрата евклидова расстояния, по средней мере однородности наблюдается хорошие отличия древесных посадок (тайга, прибрежный ивняк) от травы (пашни, поля, луга). Характеристики лесов заметно меньше характеристик травы.
- Для всех метрик по всем характеристикам наблюдается хорошее выделение водных объектов (реки, старицы). Характеристики водного объекта по средней мере однородности значительно превосходят все остальные характеристики. Корреляционная, дисперсионная меры однородности и энтропия распределения, напротив, значительно меньше всех других характеристик, причём корреляционная мера и энтропия стремятся к 0.

По результатам анализа неэффективными для дальнейшего использования оказались следующие характеристики:

- Все характеристики первого порядка – как неинформативные и не дающие различий между текстурами по их визуальному содержанию;
- Контраст и обратный момент разности – как чрезвычайно неустойчивые к помехам изображения характеристики;
- Максимальная вероятность – как неинформативная характеристика.

Таким образом, для предварительного анализа изображений высокого разрешения с целью выделения однородных участков и получения описательных характеристик таких участков для последующего хранения и использования в качестве возможных критериев поиска в БДИ были приняты следующие характеристики:

- Средняя мера однородности;
- Корреляционная мера однородности;
- Дисперсионная мера однородности;

- Энтропия распределения.

Следующим шагом в развитии математического описания стандартных текстур, представленных современными космическими снимками высокого разрешения, для поиска по базам данных изображений, используемых в цифровом картографировании, предполагается использование модели «основного наброска», или основных визуальных характеристик текстурного образца.

Литература

1. Р. Дуда, П. Харт «Распознавание образов и анализ сцен». – М.: Мир, 1976.
2. С.А. Айвазян «Прикладная статистика: классификация и изменение размерности». – М.: Финансы и статистика, 1989.
3. Ковалевская Н.М. «Исследование статистических методов и разработка программных средств цифровой обработки аэрокосмических снимков в целях экологического мониторинга». Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. Барнаул, 1996
4. Н.С. Байгарова, Ю.А. Бухштаб, Н.Н. Евтеева «Современная технология содержательного поиска в электронных коллекциях изображений». <http://artinfo.ru/eva/EVA2000M/eva-papers/200008/Baigarova-R.htm>
5. Brian McLeod «Доступ и получение пространственных данных»// Пространственные данные, №1, 2006 год, с.6-14
6. Д. Неберт «Каталоги пространственных данных: поисковые системы»// Пространственные данные, №1, 2006 год, с.15-18
7. А.В. Кошкарёв «Анализ международного опыта состава и механизмов актуализации БПД национальных ИПД»// Пространственные данные, №1, 2006 год, с. 19-29.
8. G.L.Gimel farb "Texture Modeling by Multiple Pairwise Pixel Interaction" IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence, vol. 18, #11, November 1996.
9. Anil K. Jain, Robert P.W.Duin, Jianchang Mao "Statistical Pattern Recognition: A Rewiew"// IEEE Transaction On Pattern Analysis And machine Intelligence, Vol. 22, #1, January 2000.
10. Marco Frailis "Data Management And Mining In Astrophysical Databases". Univercity of Udine – Italy, 2004.
11. Харалик Р.М. Статистический и структурный подходы к описанию текстур//ТИИЭР: Тр. Ин-та инженеров по электротехнике и радиоэлектронике.- 1979.- Т.67, N5.- С.98-120.

ANALYSIS OF VISUALLY HOMOGENEOUS SAMPLE OF MULTISPECTRAL INFORMATION AS THE APPROACH OF MODERN DIGITAL MAP-MAKING

K.A. Boenko

The aim of research is applying of statistical characteristics in homogeneous texture analysis as texture's visual content characteristics. Using 1 and 2-order statistical characteristics calculated from one-dimensional and bivariate histograms is suggested in this work. Nine homogeneous textures taken from high resolution space image was investigated in this work. There was determined fact that given statistical characteristics allow defining visual content of investigated homogeneous texture; there was also chosen characteristics which take into account visual features of particular image the most effectively.