

Влияние поляризации волны радара на текстурные характеристики объектов на радиолокационном изображении

Н.В.Родионова

*Федеральное научное бюджетное учреждение Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН (Фрязинский филиал),
Московская область, г. Фрязино, пл. ак. Введенского, д. 1, e-mail: rnv@ire.rssi.ru*

В данной работе рассматривается вопрос о влиянии поляризации волны радара на текстурные параметры объектов на радиолокационном изображении. В статье вычисляются статистики второго порядка (фрактальная размерность и текстурные признаки Харалика) объектов в зависимости от поляризации (VV, HH, HV и VH) и длины волны (C- и L-диапазоны) сенсора, на радиолокационных изображениях, полученных аппаратом SIR/C-X SAR.

The effect of polarization on object texture features in SAR images is examined in the paper. Second-order spatial statistics of Haralick and surface fractal dimension were calculated and analyzed for four polarizations and two wave lengths in SIR/C-X SAR images.

Введение

Одним из важнейших источников пространственной количественной информации на изображении является текстура. Текстура – это локальная пространственная структура на изображении или пространственное распределение тонов (уровней яркости в диапазоне от черного до белого) на изображении. Текстура на радиолокационном изображении (РЛИ) является относительным параметром, в отличие, например, от коэффициента обратного рассеяния, являющегося абсолютным параметром. Использование при вычислении тех или иных величин относительных параметров, а не абсолютных, имеет некоторые преимущества в плане их меньшей зависимости от изменений окружающей среды [1]. Текстурная информация используется при сегментации, классификации и интерпретации изображений, и с ростом пространственного разрешения данных ДЗЗ ее роль возрастает. Однако применение текстурной информации связано со значительными сложностями при попытке получить надежную интерпретацию изображений. На текстуру объектов на РЛИ влияют как внешние параметры съемки (радиометрическое и пространственное разрешение, спеклы, поляризация и длина волны радара), так и внутренние параметры алгоритмов вычисления, наиболее важным из которых является размер ядра текстуры, т. е. размер окна вычисления. Много работ посвящено рассмотрению этих вопросов [2-6 и др.]. Но ряд проблем требует дальнейшего изучения, в частности, вопрос о влиянии поляризации волны сенсора на текстурные характеристики объектов на РЛИ.

В данной работе для формирования локальных характеристик текстуры были использованы ее статистические свойства, описываемые статистиками второго порядка Харалика [7], и свойства, описываемые методом на базе моделей-фрактальной размерностью (ФР). Фрактальная размерность поверхности, являясь одним из измерений текстуры, служит мерой шероховатости.

Известно, что коэффициент обратного рассеяния цели зависит от поляризации излучаемых и принимаемых сигналов. При этом присутствует эффект деполяризации сигнала при отражении радиоволн, степень которой зависит от формы объекта, его электрических свойств и длины волны [8]. Наиболее сильная деполяризация сигнала происходит на поверхностях, покрытых растительностью, из-за многократных переотражений падающего луча от листьев, стеблей, ветвей. Эффект ярко выражен для волн от X-диапазона и более коротких длин волн. Информативность изображений с

кросс- поляризацией для областей, покрытых растительностью, и дифференциация объектов на них существенно выше в сравнении с изображениями с согласованной поляризацией.

В ряде работ приводятся данные о значениях ФР поверхности на РЛИ с разными поляризациями [9, 10]. Так в работе [10] сделан вывод о том, что ФР поверхностей на РЛИ с согласованной поляризацией (HH и VV) приблизительно равны и значительно отличаются от ФР тех же поверхностей на РЛИ с кросс поляризацией (HV и VH), которые в свою очередь показывают близкие результаты. Для текстурных признаков Харалика влияние поляризации, наряду с влиянием других внешних и внутренних параметров, рассмотрено в работе [6], где отмечено существенное влияние на значения ТП объектов на РЛИ фильтрации спеклов, значительно превосходящее влияние поляризации и длины волны (рассматривались два диапазона волн С- и L-).

Цель данной работы – вычислить значения текстурных признаков и фрактальную размерность некоторых природных объектов на РЛИ, используя данные РСА с полной поляризацией, и провести более детальный анализ влияния поляризации волны радара на текстуру.

Исходные данные

В статье исходными являются SIR-C/X-SAR SLC (single look complex- однолучевые комплексные) данные матрицы рассеяния для района Московской области, полученные 1994/10/11, и данные для южной части озера Байкал, полученные 1994/10/09. Данные представляют собой один файл для каждой сцены, соответственно, для длин волн L- и C-диапазонов. На каждый пиксел отводится 10 байт при 4-х каналах поляризации (HH, VV, VH, HV). В файле изменение по строкам соответствует изменению по азимуту, а каждая строка состоит из отсчетов по дальности. В данном формате (SLC) не вводился масштабный фактор. Распаковка данных и построение по ним изображений осуществлялось на основании описания [11].

Влияние поляризации волны на значения текстурных признаков поверхности на РЛИ

Математические методы для описания текстуры делятся на 4 основные группы: статистические, геометрические, методы на базе моделей и методы, связанные с обработкой сигналов. В данной работе для формирования локальных характеристик текстуры были использованы два метода, первый из которых относится к группе статистических методов, описываемых статистиками второго порядка Харалика [7], и второй – к методам на базе моделей- фрактальной размерностью. При отборе статистик 2-го порядка Харалика учитывалась прежде всего независимость текстурных признаков (ТП), и по результатам работы [2] были выбраны независимые ‘контраст’- мера распространения уровней яркости, ‘обратный момент’- мера локального сходства, ‘энтропия’- мера беспорядка на изображении (зависимый признак).

Значения текстурных признаков (‘контраст’, ‘обратный момент’ и ‘энтропия’) вычислялись в окне [28x28] пикселов по 20 точкам (окнам) для массива леса Лосиный остров на РЛИ Московской области и для водной поверхности на РЛИ озера Байкал. Полученные значения для каждого объекта усреднялись, и строились графики зависимости средних значений и среднеквадратичных отклонений (СКО) от поляризации (HH, VV, VH, HV) для двух длин волн (L- и C-диапазоны). Ниже на рис.1-3 приведены графики зависимости значений ТП ‘контраст’, ‘обратный момент’ и ‘энтропия’ от поляризации для двух длин волн и двух типов поверхности на РЛИ.

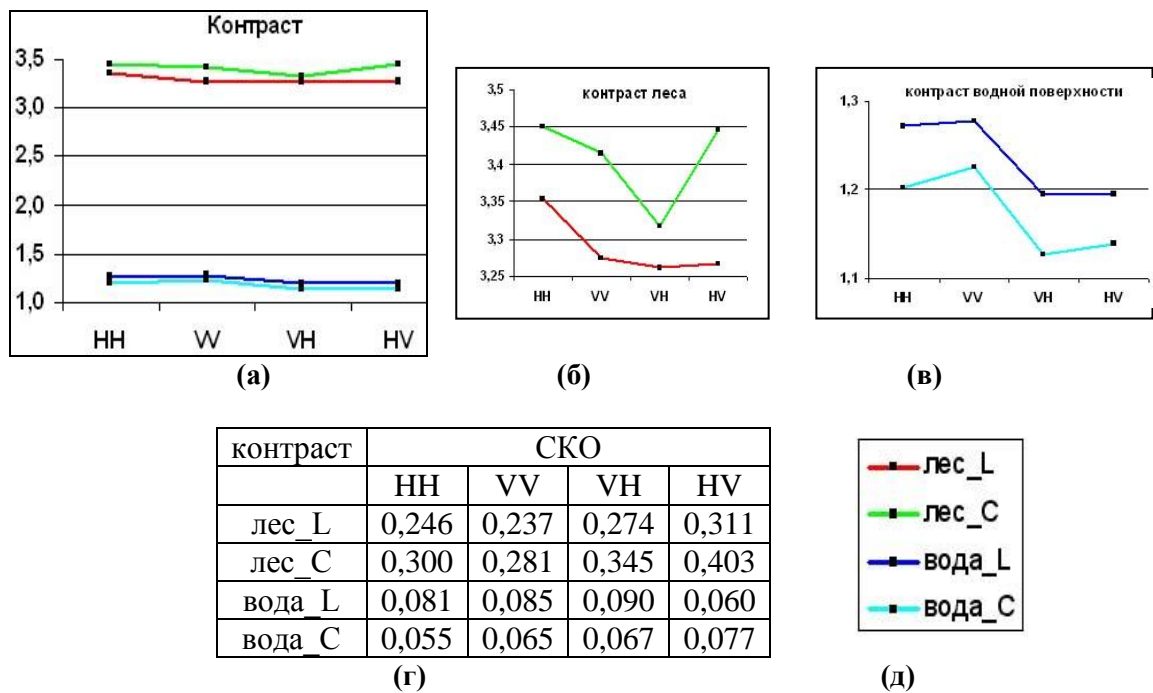


Рис. 1. Среднее значение текстурного признака ‘контраст’ водной поверхности о. Байкал и Лосиноостровского леса по 20 точкам в окне 28*28 пикселей (а); (б) – среднее значение ‘контраста’ леса, (в) - среднее значение контраста ‘воды’, (г) – значения СКО для ТП ‘контраст’, (д) – легенда

Для ТП ‘обратный момент’ и ‘энтропия’ рисунки показаны отдельно для водной поверхности и для леса.

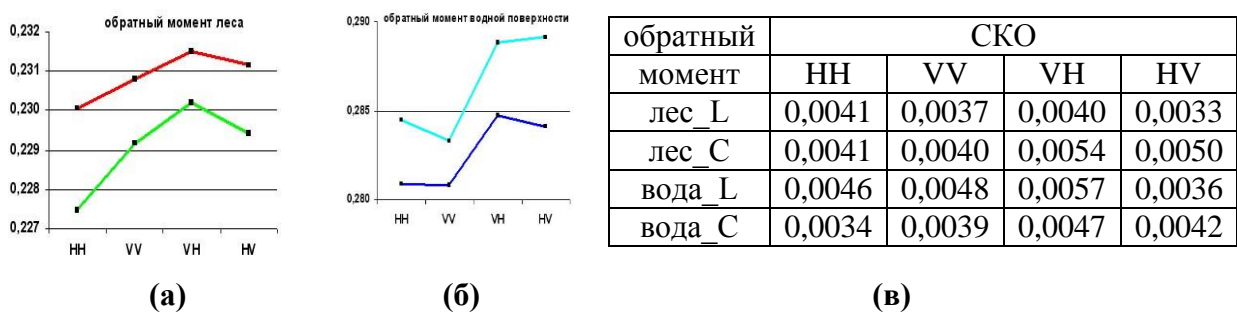
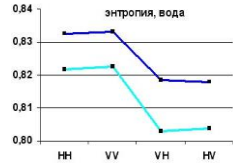
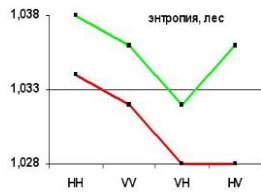


Рис. 2. Среднее значение текстурного признака ‘обратный момент’ водной поверхности о. Байкал и Лосиноостровского леса по 20 точкам в окне 28*28 пикселей (а) для леса, (б) - для воды, (в) – значения СКО ‘обратного момента’



энтропия	СКО			
	HH	VV	VH	HV
лес_L	0,0127	0,0116	0,0133	0,0145
лес_C	0,0148	0,0141	0,0161	0,0206
вода_L	0,0125	0,0124	0,0144	0,0113
вода_C	0,0091	0,0093	0,0137	0,0135

(а)

(б)

(в)

Рис. 3. Среднее значение текстурного признака ‘энтропия’ водной поверхности о. Байкал и Лосиноостровского леса по 20 точкам в окне 28*28 пикселей (а) для леса, (б) - для воды, (в) – значения СКО ‘энтропии’

Проанализируем полученные графики для значений ТП:

1) Значения текстурных признаков для рассматриваемых типов поверхности зависят от поляризации волны радара. Интересно, что для объекта ‘вода’ значения ТП на РЛИ в случае согласованных поляризаций HH и VV близки, также близки по значению ТП для кросс- поляризаций HV и VH. В то же время значения для согласованных поляризаций значительно отличаются от значений для кросс - поляризаций.

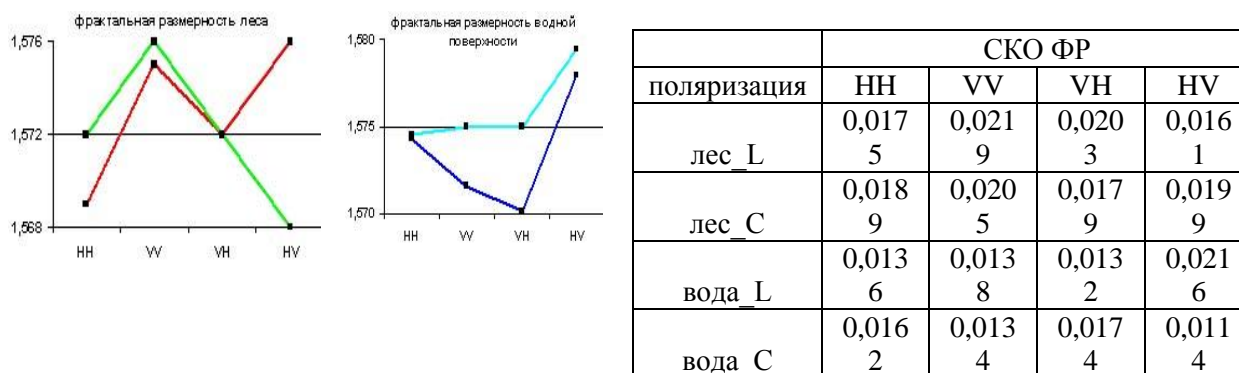
2) Значения ТП для рассматриваемых типов поверхности зависят от длины волны сенсора. Для объекта ‘лес’ характерно объемное рассеяние волны с многократным переотражением. Для более коротких волн (здесь С-диапазон), поверхность выглядит более шероховатой (бóльшие значения ‘контраста’ и ‘энтропии’, и меньшие значения ‘обратного момента’, рис. 1-3), с близкими значениями на HV, HH и VV поляризациях. На более длинных волнах (L-диапазон) поверхность выглядит более гладкой с уменьшением значений ‘контраста’ и ‘энтропии’, и увеличением значений ‘обратного момента’.

3) В соответствии с полученными значениями ТП дифференциация рассматриваемых типов поверхности (воды и леса) по используемым ТП наибольшая на HV- поляризации в С-диапазоне.

Влияние поляризации волны на значение фрактальной размерности поверхности на РЛИ

Анализ текстуры на базе фрактальной размерности (ФР) был введен в работе [12]. Фракталы являются мерой геометрической сложности объектов, и могут быть использованы для описания текстур. Фрактальная размерность объекта на 2D плоскости меняется в диапазоне от 0 до 2. Большинство природных объектов имеют дробную ФР. Фрактальная размерность поверхности, являясь одним из измерений текстуры, служит мерой шероховатости, и интуитивно, чем больше ФР, тем более шероховатой является текстуры поверхности. В ряде работ вычислены значения ФР для разных объектов на РЛИ с разными поляризациями волны сенсора [9, 10].

В данной работе вычисление ФР поверхности на РЛИ осуществлялось с помощью свободно распространяемого пакета обработки изображений Fiji. Алгоритм назван “box counting”, полное описание его можно найти в [13]. Результат вычисления ФР поверхности на РЛИ в окне [28*28] пикселей по 20 точкам (окнам) , по которым определялись среднее значение и СКО ФР, для РЛИ леса и водной поверхности, в случае двух длин волн и четырех поляризаций, показан на рис. 4.



(а) **(б)** **(в)**
Рис. 4. Среднее значение фрактальной размерности водной поверхности о. Байкал и Лосиноостровского леса по 20 точкам в окне 28*28 пикселей: (а) – ФР леса, (б) – ФР водной поверхности, (в) – значения SKO ФР

Зависимость значений ФР от поляризации и длины волны для рассматриваемых типов поверхности (вода и лес) выражена не столь определенно, как для текстурных признаков Харалика. Но, как и для значений ТП, значения ФР шероховатых поверхностей для более коротких длин волн (С-диапазон) превышают или приближенно равны значениям ФР для L-диапазона (исключение составляет значение ФР для объекта ‘лес’ на HV- поляризации (рис.4 (б)).

Для значений ФР, как и для значений ТП Харалика, лучшая дифференциация объектов (леса и воды) по полученным данным наблюдается в С- диапазоне на HV – поляризации.

Заключение

В работе рассмотрено влияние поляризации волны радара на текстурные характеристики объектов на радиолокационных изображениях, полученных аппаратом SIR/C-X SAR. Вычислены статистики второго порядка (фрактальная размерность и текстурные признаки Харалика (‘контраст’, ‘обратный момент’ и ‘энтропия’)) объектов (вода и лес) на РЛИ для четырех поляризаций (VV, HH, HV и VH) и двух длин волн (С- и L- диапазоны) сенсора. Показано, что текстурные характеристики меняются с изменением поляризации и длины волны радара. Значения ТП водной поверхности на РЛИ для согласованных поляризациях близкие, значительно отличающиеся от значений на кросс- поляризациях, которые в свою очередь тоже приближенно равны. Для шероховатых поверхностей значения ТП ‘контраст’ и ‘энтропия’ и фрактальная размерность поверхности в С-диапазоне превышают значения этих характеристик текстуры в L- диапазоне длин волн. Дифференциация объектов на РЛИ по полученным данным, как по значениям текстурных признаков Харалика, так и по значениям фрактальной размерности поверхности, наилучшая в С-диапазоне на HV –поляризации.

Литература

1. Kim Y., van Zyl J. (2001). Comparison of forest parameter estimation techniques using SAR data. *IGARSS'2001*. 3, 1395-1397.
2. Ulaby F.T., Kouyate F, Brisco B, Lee Williams T.H. (1986). Textural information in SAR images. *IEEE Trans. GRS, GE-24* (2), 235-245.
3. Ferro, C.J., Warner T. A. (2002). Scale and Texture in Digital Image Classification. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 68 (1), 51-63.

4. Родионова Н.В. (1994). Влияние числа градаций уровней яркости на текстурные признаки радиолокационных изображений. *Исследование Земли из космоса*, 6, 26-29.
5. Родионова Н.В. (2005). Влияние фильтрации спекл-шума на статистические характеристики поляриметрических РЛИ. *Исследование Земли из космоса*, 5, 34-43.
6. Родионова Н.В. (2011). Использование текстурной информации при интерпретации спутниковых снимков ДЗЗ. Материалы пятого Белорусского космического конгресса 25-27 окт. 2011 г., Минск. Т. 2. С.12-16. Минск, ОИПИ НАН Беларуси.
7. Haralick, R. M., K. S. Shanmugam, Dinstein, I. (1973). Textural features for image classification. *IEEE Trans. on Syst., Man, and Cybern.*, 3(6), 610-621.
8. Кронберг П. (1988). Дистанционное изучение Земли: Основы и методы дистанционных исследований в геологии; Пер. с нем.-М.: Мир, 343 с.
9. Singh D., Pant T. (2010). Application of fractal dimension on PALSAR data. *38th COSPAR Scientific Assembly 2010*.
10. Di Martino G., Iodice A., Riccio D., Ruello G., Zinno I. (2013). The effects of polarization on fractal dimension maps estimated from SAR data. *Proc. of PolInSAR 2013. 28 January-1 February 2013*. ESA-ESRIN. Frascati (IT). Program@Abstract Book. 147 p. pp. 123-124.
11. Chapman, B. (1994). SIR-C/AIRSAR data conversion guide. JPL, Cal. Inst. Techn., Pasadena, Ca.
12. Pentland A.P. (1984). Fractal based description of natural scenes. *IEEE Trans. PAMI*, 6, 661-674.
13. Smith T.G., Lange G.D. & Marks W.B. (1996). Fractal methods and results in Cellular Morphology. *J. Neurosci. Methods*, 69, 1123-1126.