

Классификация одноканальных радиолокационных изображений по текстурным признакам

Н.В. Родионова

Институт радиотехники и электроники РАН, Московская область, г. Фрязино, пл. ак. Введенского, д. 1, e-mail: rnv@ire.rssi.ru

Информация в одноканальных (одна частота и одна поляризация) РСА (радиолокатор с синтезом апертуры) данных ограничена интенсивностью и текстурой, и очень трудно интерпретировать такие радиолокационные изображения (РЛИ) без априорной информации. Для поляриметрических РСА данных известны разные методы классификация поверхности по основным механизмам рассеяния через элементы ковариационной матрицы. В случае одноканальных РЛИ данную процедуру предлагается осуществить, используя текстурные признаки и связь между текстурой поверхности и типом рассеяния от этой поверхности. Работа иллюстрирована РЛИ Московской области, полученным по SIR-C/X-SAR SLC поляриметрическим данным и РЛИ района республики Саха (Якутия), полученным по ENVISAT данным.

In single band and single polarized synthetic aperture radar (SAR) images, the information is limited to intensity and texture and it is very difficult to interpret such SAR images without any a priori information. It's proposed to use textural features obtained from grey level co-occurrence matrix (contrast, entropy and inverse moment) to decompose one channel SAR images. Speckle reduction is one of the main moments in image classification improvement because of strong speckle influence on texture. SIR-C/X-SAR SLC L-band image of Moscow region and ENVISAT image of Saha (Jakutija) are used for illustration.

Введение

Классификация поверхности является одним из наиболее важных применений РСА данных.

Иногда приходится сталкиваться с ситуациями, когда по финансовым, техническим или иным причинам доступно только одно РЛИ (радиолокационное изображение) исследуемой области, т.е. РЛИ, полученное для одной частоты и одной поляризации, и требуется осуществить классификацию поверхности на этом изображении по физическим механизмам рассеяния. Для РСА, работающих на одной частоте с одной поляризацией сигнала, информация на радиолокационных изображениях ограничена интенсивностью и текстурой, и очень трудно без априорного знания интерпретировать такие РЛИ, т.е. получить данные об основных типах поверхности исследуемой области.

В случае поляриметрических РСА данных для классификация поверхности по физическим механизмам рассеяния получены разные методы декомпозиции [1], использующие элементы ковариационной матрицы. Следует отметить, что элементы ковариационной матрицы подвержены влиянию спеклов (спеклы—это случайные вариации амплитуды сигнала от распределенных целей, появляющиеся в результате случайного сложения фаз в когерентном процессе формирования изображения), и для улучшения классификации на основе декомпозиции необходима фильтрация спеклов.

Среди разных алгоритмов декомпозиции выделяется своей простотой и надежностью декомпозиция Freeman и Durden [2], представляющая собой модель рассеяния для поляриметрических РСА данных, не требующая использования наземной информации. В модель входят три компонента механизма рассеяния: 1) объемное рассеяние от случайно ориентированных диполей (крона деревьев и растительность), 2) брэгговское рассеяние первого порядка от поверхности и 3) механизм рассеяния с двойным переотражением (четное рассеяние, моделируется рассеянием от двугранного уголкового отражателя, когда отражающие поверхности могут быть сделаны из различного диэлектрика). В качестве примера на рис. 1 показано разложение Freeman и Durden для РЛИ северо-восточного

района Москвы и Московской области L-диапазона, где зеленый цвет соответствует объемному рассеянию, синий - поверхностному, красный - рассеянию с двойным переотражением (размер изображения 1732*9600 пикселей). Исходными является SIR-C/X-SAR SLC данные, полученные в октябре 1994 года.

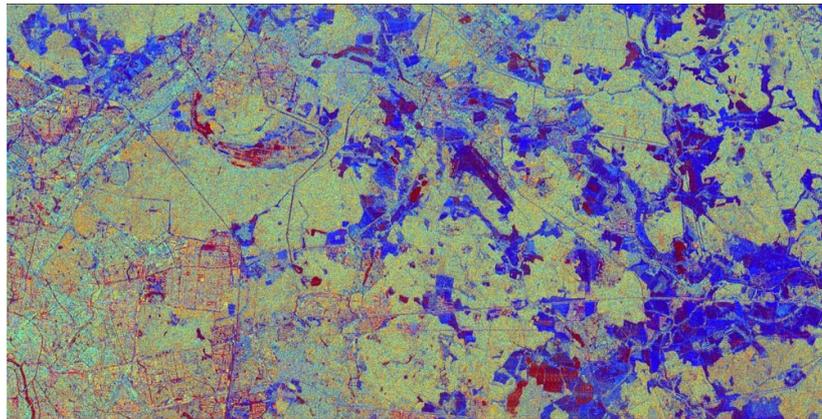


Рис. 1. RGB РЛИ разложения по механизмам рассеяния Freeman и Durden [2]

Классификация радарных поляриметрических данных свелась к двум этапам, когда на первом этапе изображение классифицируется по фундаментальным механизмам рассеяния [3], а на втором этапе, для дальнейшего деления в пределах одного класса рассеяния, используются статистические признаки, полученные из ковариационной матрицы (амплитудная, фазовая, текстурная информация и другие статистики) [4].

Текстурные признаки

Поскольку в одноканальных РЛИ информация ограничена интенсивностью и текстурой, была сделана попытка связать текстуру поверхности на РЛИ с основными типами рассеяния.

Проведенный анализ в [5-7] показал, какие диапазоны значений текстурных признаков характерны для определенных типов земной поверхности (лес, город, вода, поле и т.д.), обладающих преобладающим для этого типа поверхности механизмом рассеяния. Была при этом обнаружена сильная зависимость текстуры от фильтрации спеклов. На основе проведенного анализа из множества текстурных признаков Nagalick [8], были выбраны три некоррелирующих признака: контраст- мера распространения уровней яркости, обратный момент - мера локального сходства и энтропия - мера “беспорядка” на изображении. Данные статистики второго порядка вычислялись с помощью матрицы совместного появления уровней яркости пар смежных точек $P_{\delta,\xi}(i, j)$, означающих частоту, с которой пара точек (одна с яркостью i , другая с яркостью j), отстоящие на расстоянии δ в направлении ξ , встречаются на изображении. При $\delta=1$ у центральной точки окна есть четыре различных направления: $\xi = 0^0, 45^0, 90^0$ и 135^0 .

Средняя по направлениям матрица $P_{ij} = \frac{1}{4}(P_{1,0} + P_{1,45} + P_{1,90} + P_{1,135})$ используется для

нахождения текстурных признаков: а) контраста — $C = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (i-j)^2 P_{ij}$, б) обратного

момента — $IM = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N P_{ij} / (1 + |i-j|)$, в) энтропии — $E = - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N P_{ij} \log(P_{ij})$, где N – число градаций уровней яркости.

Текстурные признаки вычислялись на РЛИ в движущемся окне [5x5] пикселей при $N=32$.

Зависимость текстуры от фильтрации спеклов

Спеклы являются неотъемлемым атрибутом РЛИ, получаемых с помощью когерентных систем. Цель фильтрации спеклов — более эффективное решение конечной задачи тематической обработки изображений — обнаружение и распознавание объектов на РЛИ. Несмотря на то, что фильтрация спеклов приводит к ухудшению пространственного разрешения, в ряде задач вторичной обработки РЛИ необходимо уменьшать спеклы в ущерб пространственному разрешению. К таким задачам относится и задача классификация поверхности на РЛИ с использованием текстурных признаков.

Влияние фильтрации спеклов на текстуру в случае РСА с одной поляризацией рассмотрено в [9], в случае РСА с полной поляризацией - в [7]. В задачах классификации объектов на РЛИ фильтрация спеклов приводит к улучшению точности классификации за счет того, что усиливает разделение классов во всех поляризационных каналах [7].

В качестве примера влияния фильтрации спеклов на текстуру на рис. 2 приведены РЛИ текстурного признака обратный момент до и после фильтрации для радарных изображений Московской области (для текстурных признаков энтропия и контраст изображения однотипны с приведенными на рис. 2). Исходными являются SIR-C/X-SAR SLC (single look complex) данные L-диапазона, полученные 1994/10/09. Фильтрация осуществлялась с помощью поляриметрического фильтра Lee [10].

Значения контраста и энтропии при фильтрации спеклов уменьшаются, а обратного момента растут.

Цветовая кодировка текстурных признаков

Анализ значений текстурных признаков [5-7] показал, что контраст принимает наибольшие значения для объектов, для которых характерно рассеяние с двойным переотражением (например, городские застройки), и наименьшие значения - для объектов с поверхностным рассеянием (вода, луга, пустыри). Для объектов с объемным рассеянием контраст принимает некоторое промежуточное значение между этими двумя. Значения энтропии наибольшие для объектов, характеризующихся рассеянием с двойным переотражением, и наименьшее для объектов с объемным рассеянием. Значения обратного момента наибольшие для объектов с объемным рассеянием и наименьшие для объектов, характеризующихся рассеянием с двойным переотражением.

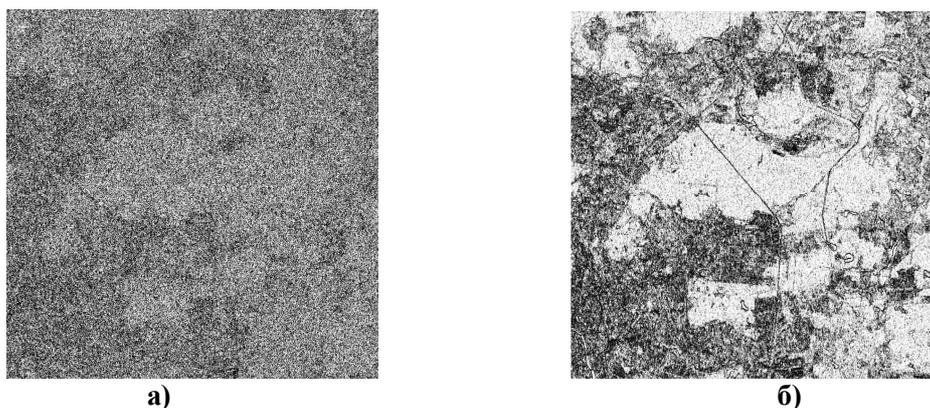


Рис. 2. РЛИ текстурного признака обратный момент до фильтрации (а) и после фильтрации (б) спеклов

Если в кодировке RGB текстурный признак энтропия представить красным цветом, контраст - зеленым и обратный момент - синим, то дополнительные цвета будут соответствовать фундаментальным механизмам рассеяния, а именно, красный + зеленый = желтый — рассеяние с двойным переотражением, зеленый + синий = голубой — объемное рассеяние, синий + красный = пурпурный — поверхностное рассеяние. Почему? Высокие значения контраста (в нашей кодировке - зеленый цвет) и высокие значения энтропии (красный цвет) присущи объектом с двойным переотражением, т.е. такие объекты на RGB текстурном РЛИ будут иметь оттенки смеси двух цветов зеленого и

красного, т. е. оттенки желтого цвета. Объекты с объемным рассеянием обладают высокими значениями обратного момента (синий цвет) и средними значениями контраста (зеленый цвет). Т.е. для объектов с объемным рассеянием характерным цветом будут оттенки синего плюс зеленого цветов, т.е. голубого цвета. Объекты с поверхностным рассеянием характеризуются средними значениями обратного момента и энтропии и малыми значениями контраста. Цветовая гамма таких объектов на текстурном RGB РЛИ будет смешением двух цветов синего и красного, давая оттенки пурпурного цвета.

На рис. 3 показан цветовой куб для текстурной кодировки.

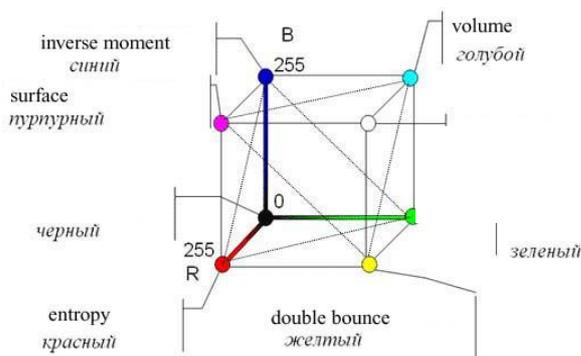


Рис. 3. Цветовой куб для текстурного RGB РЛИ

На рис. 4 дано текстурное RGB РЛИ с цветовой кодировкой: контраст – зеленый цвет, энтропия - красный, обратный момент – синий цвет; голубой цвет соответствует объектам с объемным рассеянием, желтый цвет – объектам с двойным переотражением, оттенки фиолетового – объектам с поверхностным рассеянием. Исходным является РЛИ L-диапазона HV-поляризации. Аналогичные РЛИ получаются для VV и HH поляризаций. Текстура вычислялась на предварительно фильтрованном с помощью поляриметрического фильтра Lee [10] изображении. При сравнении текстурного РЛИ на рис. 4, полученного для одной поляризации, с рис. 1, где дана классификации по механизмам рассеяния Freeman и Durden для РЛИ с полной поляриметрией, обнаруживаем сходство обоих изображений в сегментации областей с определенным механизмом рассеяния.

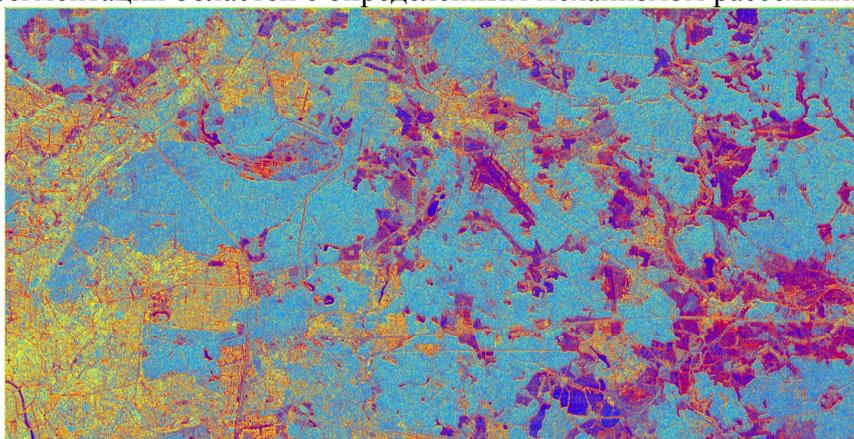


Рис. 4. Текстурное RGB РЛИ (энтропия-красный цвет, контраст – зеленый, обратный момент – синий цвет), исходным является РЛИ L-диапазона HV поляризации.

На рис. 5 показано текстурное RGB РЛИ Мирнинского района республики Саха (Якутия). Исходное РЛИ получено аппаратом ENVISAT для C-диапазона и VV поляризации 2005.06.30. На РЛИ показана река Вилюй, а в нижнем правом углу – г. Мирный. Размер изображения 8414*8673 пикселей. Фильтрация осуществлялась с помощью фильтра локальных статистик Lee [11], применяемого для одноканальных РЛИ. На рис. 6 показана топографическая карта данного района.

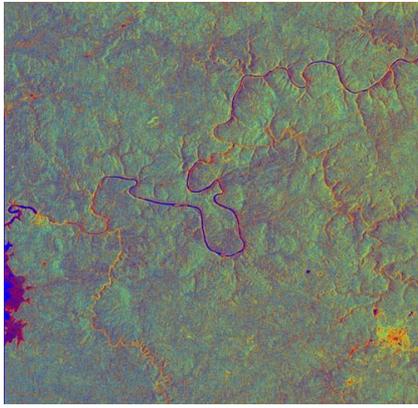


Рис. 5. Текстурное RGB РЛИ Мирнинского района Якутии (С-диапазон, VV-поляризация)



Рис. 6. Топографическая карта Мирнинского района Якутии (состояние местности на 1982 год)

Таким образом, для классификации одноканальных РЛИ по механизмам рассеяния с использованием текстурных признаков предлагается следующая последовательность действий: 1) фильтрация РЛИ, 2) создание РЛИ некоррелирующих текстурных признаков (контраст, энтропия и обратный момент), 3) создание RGB РЛИ путем слияния трех каналов этих текстурных признаков, 4) представляя текстурные признаки в кодировке RGB основными цветами, получаем разложение одноканального РЛИ по основным механизмам рассеяния в дополнительных цветах.

Заключение

Предложена процедура классификации одноканальных (одна частота и одна поляризация) РЛИ по основным механизмам рассеяния без априорной информации путем использования некоррелирующих текстурных признаков.

Литература

1. Cloude, S.R. and Pottier, E. (1996). A review of target decomposition theorems in radar polarimetry. *IEEE Trans. Geos. Rem. Sens.* 34 (2), 498-518.
2. Freeman, A. and Durden, S.L. (1998). A three-component scattering model for polarimetric SAR data. *IEEE Trans. Geos. Rem. Sens.* 36 (3), 963-973.
3. Van Zyl, J.J. (1989). Unsupervised classification of scattering mechanisms using radar polarimetry data. *IEEE Trans. Geos. Rem. Sens.* 27, 36-45.
4. Lee, J.S., Grunes, M.R., Pottier, E., Ferro-Famil, L. (2004). Unsupervised terrain classification preserving polarimetric scattering characteristics. *IEEE Trans. Geos. Rem. Sens.* 42 (4), 722-731.
5. Родионова Н.В. (2007). Классификация поверхности на поляриметрических РЛИ с использованием текстуры и разложения по механизмам рассеяния. *Исследование Земли из космоса*, №4, 8-14.
6. Родионова Н.В. (1994). Статистический текстурный анализ радиолокационных изображений, полученных с ИСЗ АЛМАЗ. *ИЗК*, № 2, 59-64.
7. Родионова Н.В. (2005). Влияние фильтрации спекл-шума на статистические характеристики поляриметрических РЛИ. *Исследование Земли из космоса*, 5, 34-43.
8. Haralick, R.M. (1979). Statistical and structural approaches to texture. *Proc. IEEE.* 67 (5), 786-804.
9. Dong, Y., Milne, A.K., Forster, B.C. A (2000). Review of SAR Speckle Filters: Texture Restoration and Preservation. *Proc. IGARSS'2000.*
10. Lee, J.-S., Grunes, M.R., de Grandi, G. (1999). Polarimetric SAR speckle filtering and its implication for classification. *IEEE Trans. Geos. Rem. Sensing*, 37 (5), 2363 – 2373.
11. Lee, J.-S. (1981). Refined filtering of image noise using local statistics. *Computer Graphics and Image Processing*, 15, 380-389.