

А.В. Евтюшкин, С.А. Комаров, Д.Н. Лукьяненко, В.Л. Мионов

КЛАССИФИКАЦИЯ ЗЕМНЫХ ПОКРОВОВ ПО РАДИОЛОКАЦИОННЫМ ИЗОБРАЖЕНИЯМ

Приведены результаты исследований по тематической обработке орбитальных изображений, полученных с помощью радиолокатора с синтезированной апертурой SIR-C/X-SAR в L - и C -диапазонах на поляризациях HH , VV , HV . Рассмотрены вопросы распознавания характеристик лесной и сельскохозяйственной растительности, эрозионных процессов почвы в региональном масштабе на равнинной и предгорной территориях Алтайского края. Рассмотрено влияние фильтрации спекл-шума, проведена процедура классификации изображений ядрами в пространстве контраст – среднее значение интенсивности. Результаты классификации сравнивались с наземными данными, а также орбитальными сканерными и фотоизображениями в оптическом диапазоне.

Введение

Совместное рассмотрение орбитальных изображений земных территорий в видимом, инфракрасном и радиоволновом диапазонах позволяет более полно использовать методы тематической обработки в задачах анализа природных ресурсов.

Развитие методов тематической обработки орбитальных данных ведется на базе Алтайского подспутникового полигона с 1988 г. Научно-исследовательским институтом экологического мониторинга при Алтайском госуниверситете. За это время был приобретен опыт обработки изображений земных покровов в региональном масштабе, накоплен значительный объем тематической информации на основе съемок в оптических областях спектра и создана наземная база данных. С появлением изображений в радиодиапазоне с разрешением того же порядка, что и в оптическом, возникла возможность сравнения оптических и микроволновых съемок, применения методов обработки в оптической и ближней ИК-областях спектра к РСА-изображениям, совместной обработки данных в оптическом и радиодиапазонах.

Цель данной работы – развитие методик оценки состояния почвенно-растительных покровов на основе классификации орбитальных радиолокационных изображений, полученных радиолокатором с синтезированной апертурой (РСА) SIR-C/X-SAR, и сравнение результатов с наземными данными, сканерной съемкой аппаратом МСУ-Э и фотоизображениями с фотоспутников РЕСУРС-Ф1М.

Предварительная обработка и классификация радиолокационных изображений

Исследуемая территория расположена на стыке Предалтайской равнины и отрогов Колыванского и Башелакского хребтов Горного Алтая. Съемки были произведены с борта космического аппарата многоразового использования типа «SHUTTLE» 7.10.94 г. с помощью радиолокатора SIR-C/X-SAR на длинах волн 23,5 см (L -диапазон) и 5,6 (C -диапазон) с разрешением около 10 м на поверхности Земли. В обработке использованы сигналы на поляризациях HH , HV , VV , а также изображения по полной энергии сигнала. Абсолютная калибровка данных отсутствовала. Предварительная обработка сигнала заключалась в его переквантовании на $K = 256$ градаций уровня, а в качестве начала отсчета выбирался объект, имеющий наименьшую интенсивность рассеянного в обратном направлении радиолокационного сигнала. В рассматриваемом случае это была открытая водная гладкая поверхность озера. В качестве сравнения использовались данные на тот же район, полученные с МСУ-Э, РЕСУРС-Ф1М, а также наземная информация.

Первой стадией работы по анализу радиолокационных изображений была фильтрация спекл-шума, который образуется вследствие когерентности сигнала, формирующего изображение РСА. Для его подавления были опробованы известные в литературе фильтры: усредняющий, медианный, сигма-фильтр, фильтр Ли [1]. Сглаживание шума производилось путем

их последовательного применения к одному и тому же участку радиолокационного изображения (РЛИ). Используемое для усреднения окно имело размер 3×3 пиксела. Дальнейшая обработка показала, что качество классификации наиболее высокое при использовании фильтра Ли.

Наиболее простым и распространенным подходом к классификации природных объектов на радиолокационных изображениях является использование лишь одного признака – интенсивности рассеянного сигнала I , величина которой зависит от шероховатости объектов и от их диэлектрических свойств. В данном случае использовалось среднее значение этой величины по окну размером $M \times N$:

$$\bar{I} = \frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N I_{mn}, \quad (1)$$

где I_{mn} – интенсивность отдельного пиксела.

Кроме того, была рассмотрена возможность использования признаков статистического текстурного анализа, которые наиболее близки к зрительному восприятию объекта человеком. В работе использовался метод, основанный на применении матриц смежности. Элементы этих матриц представляют собой значения частот, с которыми пары точек (одна с яркостью i и другая с яркостью j), отстоящие на расстоянии r и в направлении Θ , встречаются на изображении. Для анализа применялись различные размеры окон, расстояние $r = 1$ и $\Theta = 0; 45; 90; 135$ [2, 3]. Матрицы смежности строились в окрестности каждой точки исходного изображения. После нахождения матриц смежности для разных Θ выполнялось усреднение по углам соответствующих матричных элементов.

Знание элементов матрицы смежности позволяет перейти к ряду текстурных признаков изображения. В качестве таких признаков рассматривались контраст C , энтропия E , однородность U и обратный момент IM [2], которые определяются следующим образом:

$$C = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K (i-j)^2 P_{ij} - \text{контраст}; \quad E = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K P_{ij} \log P_{ij} - \text{энтропия};$$

$$U = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K P_{ij}^2 - \text{однородность}; \quad (2)$$

$$IM = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K P_{ij} / (1 + |i-j|) - \text{обратный момент}.$$

Для сравнения эффективности использования признаков и возможности определения по ним объектов на изображениях было рассмотрено несколько структур, представляющих собой поля и участки леса с различным видовым составом деревьев, по которым проведены вычисления их текстурных признаков на всех поляризациях. Анализ показал, что для задачи определения типов растительности при заданном уровне квантования сигнала $K = 256$ целесообразно выбирать два признака – контраст и среднее значение для всех поляризаций.

Дальнейшая обработка заключалась в классификации, основанной на описании классов «ядрами» в координатах C и \bar{I} . При этом варьировались размеры окна от 2×2 до 20×20 и поляризация сигнала. Задача распознавания заключалась в том, чтобы всю анализируемую совокупность точек в пространстве (C, \bar{I}) разбить на сравнительно небольшое число (не обязательно известное заранее) однородных, в определенном смысле, групп или классов.

Для такого разбиения были выбраны эвристические алгоритмы, которые непосредственно опираются на постановку задачи выделения в многомерном пространстве компактных групп точек [4]. Эвристическими они были названы потому, что не поддается строгой формализации само понятие «компактная группа точек». Эти алгоритмы достаточно просты в реализации и обладают большой скоростью выполнения, что послужило решающим фактором для их выбора. В качестве алгоритмов использовались Форель, Пульсар, k -средних [4]. На выход блока классификации подается совокупность векторов признаков, в результате работы которого происходит их разделение на группы [5].

Результаты классификации

Прежде всего был проведен простейший вариант классификации только по одному из признаков – C или \bar{I} . Результат показал возможность отделить таким образом лесную растительность от полевой по каналу LHV. Кроме того, при классификации по среднему наблюдается большой разброс классов на сельскохозяйственных полях. Применение классификации по одному признаку на канале SHV не позволяет разделить лесную и полевую растительность.

При использовании для классификации пространства двух признаков были выделены на всех поляризациях в диапазоне L основные типы земельных ресурсов, которые содержали ровную поверхность (вода, ровная почва без растительного покрова), небольшую растительность на полях, лесные массивы и населенные пункты.

Следующим шагом было выделение структурно-разных групп из каждого класса. Оказалось, что частотные диапазоны обладают различными возможностями. Так, для L характерно отделение лесной растительности от низкого кустарника и травы, а в диапазоне C этого сделать нельзя. На изображениях в L -диапазоне на HH - и VV -поляризациях хорошо распознаются участки хвойных, лиственных и смешанных лесов. Наиболее темный фон на изображении соответствует хвойному лесу (сосна), несколько более светлый – поросли пихты и осины. Еще более светлые тона соответствуют поросли сосны и березы, а также березовым массивам. Внутри общего контура лесного массива легко дешифрируются незаселенные поляны. То же самое можно различить и на кроссполяризации в диапазоне L . Эти участки земных покровов выделяются также по результатам классификации сканерных снимков МСУ-Э, полученных с ИСЗ «Космос-1939», а также надежно дешифрируются по панхроматическим орбитальным фотоснимкам. Все результаты обработки орбитальных изображений тестировались данными наземных экспедиций.

Дорожная сеть хорошо распознается на всех РЛИ, независимо от длины волны и поляризации. Линии электропередач отражаются только на снимках, полученных в L -диапазоне на HV -поляризации, в виде ярких прямолинейных полос с точечными изображениями ферм. Сельскохозяйственные поля возделываемых земель наиболее дифференцированно отображаются в L -диапазоне на HV -поляризации. В целом сравнительный анализ РЛИ на различных длинах волн и разных поляризациях показал преимущества использования для целей дешифрирования растительного покрова изображений, полученных в L -диапазоне радиоволн. C -диапазон оказался непригодным для выделения и распознавания видового состава растительности.

Заключение

Проведенные исследования дали следующие результаты.

1. Сделан выбор алгоритма фильтрации спекл-шума для задачи классификации природных объектов по радиолокационным изображениям. Было установлено, что качество классификации наиболее высокое при использовании фильтра Ли.

2. Исследована применимость текстурных признаков для обработки радиолокационных изображений. В результате построение классификационных алгоритмов велось в пространстве контраст – среднее значение при 256 градациях интенсивности исходного изображения.

3. В результате классификации были определены на изображениях леса и поля с разным уровнем растительности, а также леса разного видового состава. С помощью только автоматической классификации удалось выделить леса, озера, населенные пункты, поля. Было проведено сопоставление выходных классов с наземными данными и оптическими изображениями. Различные по видовому составу участки леса (поросли сосны и березы, поросли пихты и осины) надежно распознаются.

4. Создан программный комплекс, позволяющий вести анализ радиолокационных изображений и включающий в себя блоки фильтрации и классификации.

Данная работа выполнена в рамках соглашения с Институтом радиотехники и электроники РАН о проведении научно-исследовательских работ по тематической обработке радиолокационных изображений. Исходные данные SIR-C/X-SAR были также предоставлены ИПЭ РАН.

1. Белокуров А.А. // Зарубежная электроника. 1990. № 6. С. 26–36.

2. Haralick R.M., Shanmugan K., and Dinstein I. // IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics. 1973. Vol. SMC-3. N 6. P. 610–621.

3. Миронов В.Л., Евтюшкин А.В., Лукьяненко Д.Н. // Материалы Международного симпозиума «Мониторинг окружающей среды и проблемы солнечно-земной физики». Томск: ТГУ, СФТИ. 1996. С. 51–52.

4. Айвазян С.А., Бухштабер В.М. Прикладная статистика. Классификация и снижение размерности. М., 1989. 607 с.
5. Diark R.P., Eiumnoh A. // IGARSS'95. V. 2. P. 1020–1021.

Алтайский государственный университет,
г. Барнаул

Поступила в редакцию
21 июля 1997 г.

A.V. Yevtushkin, S.A. Komarov, D.N. Lukjanenko, V.L. Mironov. Classification of the Earth's Surfaces From Radiolocation Images.

The investigation results on the processing of the space-made images obtained by means of synthetic aperture SIR-C/X-SAR L/C-band radar of *HH*, *VV*, and *HV* polarization are presented. The problems of recognition of the characteristics of forest and agricultural vegetation as well as erosional processes in soil at the regional scale on plains and foothills of Altai region are treated. The classification results are compared with the data obtained from the ground measurements and with orbitally scanned and photoimages of optical range.