ПРИМЕНЕНИЕ ФОРМАЛИЗМА КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТОВ И МАРКОВСКИХ ЦЕПЕЙ К МОДЕЛИРОВАНИЮ ПРОЦЕССОВ, ИЗУЧАЕМЫХ С ПОМОЩЬЮ КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Ф.А. Сурков

Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону
fasurkov@sfedu.ru

Аннотация. Задача анализа, моделирования и прогнозирования процессов изменения земного покрова по его изображениям на космических снимках представлена как задача прогнозирования временных рядов. Есть причина выполнить предварительную процедуру классификации для спутниковых снимков, чтобы уменьшить количество возможных цветов пикселей с более миллиона до количества классов (3–10). Обсуждаются новые алгоритмы классификации, использующие формализм клеточных автоматов и нечетких множеств. Выполнен обзор литературы, в которой содержатся примеры удачного применения к решению поставленной задачи формализма Марковских цепей и клеточных автоматов. Исторические спутниковые снимки используются для оценки компонентов матрицы вероятности перехода, а цвета пикселей в окрестности учитываются в соответствии с правилами теории клеточных автоматов. Были рассчитаны прогнозы изменений в землепользовании/земном покрове на 2030, 2040 и 2050 годы для 13 округов окрестности города Атланта, Джорджия, США. Определены три задачи, для которых целесообразно применять данный подход: появление объектов фрактального типа в развитии городских территорий, динамика береговой линии Азовского моря в течение длительного периода и процессы опустынивания в восточных районах Ростовской области.

Ключевые слова: космические снимки, процедуры классификации, Марковские цепи, клеточные автоматы.

Потребовалось немногим более двух десятилетий, чтобы привыкнуть к мысли о том, что наиболее объективную, оперативную и объемную информацию о том, что происходит на земле мы получаем из космоса. Даже получившие в последние годы взрывное распространение во многих отраслях человеческой деятельности беспилотные летательные аппараты (БПЛА) еще далеки от того, чтобы конкурировать с информацией, получаемой с космических аппаратов (КА), осуществляющих дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ).

По всем критериям данные, получаемые от всей флотилии КА осуществляющих ДЗЗ относятся к классу Больших Данных (Big Data) [1]. Если объем информации на единичном снимке (сцене) составляет порядка 1Гб, то для наземной станции, принимающей снимки с нескольких КА общий объем информации, принимаемой за сутки, составляет уже порядка 1Тб, архив данных на такой станции имеет уже объем порядка 1Пб, а общий архив всех данных ДЗЗ имеет объем порядка 1Еб.

Информация, содержащаяся в космических снимках, используется для решения задач, связанных с изучением процессов, происходящих на поверхности Земли. Не будем останавливаться на характеристиках используемых космических снимков, таких как разрешение или количество спектральных каналов. Будем считать, что имеется некоторая территория, для которой поставлена задача прогнозирования развития некоторых процессов,

которые можно распознать на космических снимках, и имеется извлеченный из архива набор космических снимков изучаемой территории.

Можно считать, что представленная задача является известной задачей математической статистики – задачей прогнозирования временного ряда, в котором элементами являются не числа или векторы, а космические снимки (которые также можно считать векторами). Для примера – склеенный из трех каналов видимого диапазона (RGB) снимок Ландсат8 содержащий более 60 млн пикселей может быть представлен вектором с более чем 180 млн компонент.

Первым шагом на пути решения поставленной задачи является осуществление процедуры классификации пикселей исходных космических снимков. Современное программное обеспечение, предназначенное для дешифрирования космических снимков, содержит многочисленные программы классификации с обучением и без обучения. Процедура классификации необходима для того, чтобы каждый пиксель снимка выбирался после ее осуществления не из палитры в миллионы цветов, а принадлежал бы одному из немногих (3–10) типов земного покрова. Проблемы, возникающие при осуществлении процедур классификации, пути их преодоления и современные подходы к данному вопросу, в частности, с использованием формализма нечетких множеств Заде представлены в [2].

Для того, чтобы воспользоваться уже разрабо-

танными для временных рядов подходами к прогнозированию, следует сделать некоторые предположения относительно свойств исследуемого временного ряда. Первое – это предположение о стационарности, сохранении свойств временного ряда на исследуемом промежутке времени. Это предположение чаще всего несправедливо для достаточно продолжительных временных интервалов, но на сравнительно коротких интервалах времени наоборот, представляется вполне допустимым. Второе предположение, которое подлежит обсуждению – это предположение о том, что временной ряд является Марковским случайным процессом. Марковскими называют случайные процессы, в которых будущее зависит от прошлого через настоящее. Более точно можно сказать, что изображение на космическом снимке, полученном в момент $(t+1)$, конечно зависит от изображений на снимках, полученных в моменты t , $(t-1)$, $(t-2)$, ..., но часто бывает, что снимки в моменты $(t-1)$, $(t-2)$, ..., не так важны, и изображение на снимке в момент $(t+1)$ зависит только от изображения на снимке в момент t .

В работе [3] был использован подход к моделированию изменений типа земного покрова с использованием формализма Марковских цепей. Для Ливерпульского региона штата Новый Южный Уэльс, Австралия, были выбраны 4 типа земель: голый грунт и пахотные земли, естественные пастбища, улучшенные пастбища и лесистая местность. По данным за период с 1972 по 2009 год были построены три матрицы переходов Марковской цепи и с их помощью были сделаны прогнозы изменений земного покрова, которые дали удовлетворительные результаты.

Недостатком моделирования изменений типа земного покрова с использованием формализма Марковских цепей является отсутствие учета влияния пространственного расположения пикселей, подвергаемых изменениям в соответствии с матрицей переходов Марковской цепи. Этот недостаток был преодолен в работе [4], где при расчете матрицы переходов была использована информация о состоянии соседних пикселей. В соответствии с формализмом теории клеточных автоматов соседними принято считать 4, 8, 24 или даже 48 пикселей, окружающих преобразуемый.

Рис. 1. Окрестность Фон Неймана (a), окрестность Мура (b), расширенная окрестность Мура (c).

Исследования изменений были проведены для 13 районов, окружающих Атланту, Джорджия, США, при этом были выделены 6 типов земного покрова: городское использование с высокой плотностью, городское использование с низкой плотностью, культивируемые участки, пахотные земли, лес, вода. Было осуществлено прогнозирование развития исследуемой территории до 2050 года.

Комбинированный подход с использованием Марковских цепей и клеточных автоматов был также использован в работе [3], что по мнению авторов привело к более адекватному описанию динамики земного покрова на исследуемой территории.

Интересно, что формализм теории клеточных автоматов оказывается полезным и при осуществлении упоминавшихся выше процедур классификации [5, 6].

Удачный пример применения комбинированного подхода с использованием Марковских цепей и клеточных автоматов описан в [7]. Для части территории Тюрингии, Германия, были проведены исследования космических снимков Ландсат за 1990, 2000 и 2010 гг. для оценивания компонент матриц переходных вероятностей Марковской цепи. Были выделены 5 типов земного покрова: лес, застроенная территория, сельхозугодия, пастбища и водоемы. После получения удовлетворительных результатов сравнения реального изображения за 2010 год и полученного в результате осреднения результатов имитационных расчетов с помощью матрицы переходных вероятностей Марковской цепи, были осуществлены прогнозы развития территории на 2020, 2030, 2040 и 2050 годы.

Представляется перспективным использование описанных выше подходов с использованием Марковских цепей и клеточных автоматов для задач градостроительства, в которых могут появляться фрактальные структуры [8], прогнозирования процессов абразии берегов [9], и прогнозирования процессов опустынивания [10]. В настоящее время студентами магистратуры «Земельные информационные системы и администрирование» Южного федерального университета выполняются работы по сбору необходимой информации для решения этих трех задач.

Список ссылок:

1. Peng Liu. A survey of remote-sensing big data// Front. Environ. Sci., 17 June 2015
2. Amritpal Kaur, Kumud Sachdeva, Vanita Rani. A Review on Satellite Image Classification//International Journal of Computer Science & Information Technology, Volume 4, Issue 3 (June, 2017)
3. Priyakant Sinha, Lalit Kumar. Markov Land Cover Change Modeling Using Pairs of Time-Series Satellite Images//Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 79, No. 11, November 2013.
4. Lo, C.P., and X. Yang. Drivers of land-use/land-cover changes and dynamic modeling for the Atlanta, Georgia metropolitan area// Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 68(10):1073–1082, 2002.
5. Moisés Espínola, José A. Piedra-Fernández, Rosa Ayala, Luis Iribarne, and James Z. Wang. Contextual and Hierarchical Classification of Satellite Images Based on Cellular Automata//IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 53(2): February 2015, 795–809
6. Hari Krishnan.R, S.Poongodi. Satellite Image Classification Based on Fuzzy with Cellular Automata// SSRG International Journal of Electronics and Communication Engineering (SSRG-IJECE) volume 2 Issue 3 March 2015
7. Hamidreza Keshtkar, Winfried Voigt. A spatiotemporal analysis of landscape change using an integrated Markov chain and cellular automata models// Model. Earth Syst. Environ. (2016) 2:10
8. Сикорская Н.К., Сурков Ф.А. Применение геоинформационных технологий в градостроительстве и элементы фрактальной геометрии // Экология. Экономика. Информатика. Серия: Геоинформационные технологии и космический мониторинг Выпуск 2, Ростов-на-Дону, Изд-во ЮНЦ РАН, 2017.
9. Цыганкова А.Е., Беспалова Л.А., Ивлиева О.В. Динамика береговой линии Азовского моря за многолетний период // Экология. Экономика. Информатика. Серия: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. Выпуск 3, Ростов-на-Дону, Изд-во ЮНЦ РАН, 2018.
10. Сурков Ф.А. Мониторинг и моделирование процессов опустынивания на примере восточных районов Ростовской области // Экология. Экономика. Информатика. Серия: Геоинформационные технологии и космический мониторинг Выпуск 3, Ростов-на-Дону, Изд-во ЮНЦ РАН, 2018.

APPLICATION OF CELLULAR AUTOMATA AND MARKOV CHAIN FORMALISM TO MODELLING PROCESSES STUDIING WITH REMOTE SENSING DATA

F.A. Surkov

Southern Federal University, Rostov-on-Don
fasurkov@sfedu.ru

Abstract. The task of analyzing, modeling and predicting the processes of changing the land cover from satellite images is presented as the task of forecasting the time series. There is a reason to make preliminary classification procedure for the satellite images to decrease the number of possible colors of the pixels from more than a million to the number of classes (3–10). New classification algorithms with cellular automata and fuzzy set formalism are discussed. For the problem of modeling and predicting the processes of changing the land cover a literature review is carried out, which contains examples of successful application to the solution of the problem with the help of Markov chains and cellular automata formalism. Historical satellite images are used to evaluate the components of transition probability matrix and the colors of pixels in neighborhood are taken into account, in accordance with cellular automata theory rules. The predictions of land-use/land-cover changes for 2030, 2040 and 2050 years for the 13 metro counties of the Atlanta metropolitan area were calculated. Three tasks for which this approach is advisable to apply are determined: the appearance of fractal-type objects in urban territory development, the coastline of Azov Sea dynamic during the long-term period and desertification processes at the eastern regions of the Rostov region.

Keywords: satellite images, classification procedures, Markov chains, cellular automata.

1. Peng Liu. A survey of remote-sensing big data// Front. Environ. Sci., 17 June 2015
2. Amritpal Kaur, Kumud Sachdeva, Vanita Rani. A Review on Satellite Image Classification//International Journal of Computer Science & Information Technology, Volume 4, Issue 3 (June, 2017)
3. Priyakant Sinha, Lalit Kumar. Markov Land Cover Change Modeling Using Pairs of Time-Series Satellite Images//Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 79, No. 11, November 2013.
4. Lo C.P., Yang X. Drivers of land-use/land-cover changes and dynamic modeling for the Atlanta, Georgia metropolitan area// Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 68(10):1073–1082, 2002.
5. Moisés Espínola, José A. Piedra-Fernández, Rosa Ayala, Luis Iribarne, and James Z. Wang. Contextual and Hierarchical Classification of Satellite Images Based on Cellular Automata//IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 53(2): February 2015, 795–809
6. Harikrishnan R., Poongodi S. Satellite Image Classification Based on Fuzzy with Cellular Automata// SSRG International Journal of Electronics and Communication Engineering (SSRG-IJECE) volume 2 Issue 3 March 2015
7. Hamidreza Keshkar, Winfried Voigt. A spatiotemporal analysis of landscape change using an integrated Markov chain and cellular automata models// Model. Earth Syst. Environ. (2016) 2:10
8. Sikorskaya N.K., Surkov F.A. Application of geoinformation technologies in urban planning and elements of fractal geometry. // Ekologiya. Ekonomika. Informatika. Geoinformatsionnye tekhnologii i kosmitscheskiy monitoring. V2, Rostov-na-Donu Izdatelstvo Yuzhnogo Nautschnogo Tsentra RAN, 2017. (In Russian).
9. Tsygankova A.E., Bepalova L.A., Ivlieva O.V. Dynamics of the coastline of the Azov Sea for the long-term period. // Ekologiya. Ekonomika. Informatika. Sistemnyi analiz i modelirovaniye ekonomitscheskikh i ekologitscheskikh sistem. V3, Rostov-na-Donu Izdatelstvo Yuzhnogo Nautschnogo Tsentra RAN, 2018. (In Russian).
10. Surkov F.A. Monitoring and simulation of the desertification process on the example of the eastern regions of the Rostov region // Ekologiya. Ekonomika. Informatika. Geoinformatsionnye tekhnologii i kosmitscheskiy monitoring. V3, Rostov-na-Donu Izdatelstvo Yuzhnogo Nautschnogo Tsentra RAN, 2018. (In Russian).