

А. Д. Федоровский, В. Г. Якимчук, С. А. Рябокопенко, А. Д. Рябокопенко

ПРИМЕНЕНИЕ МАРКОВСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ЛАНДШАФТНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПО ДАННЫМ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

Для космических изображений таких составляющих ландшафтных комплексов (ЛК) как лесная и сельскохозяйственная растительность, водная поверхность, городская застройка [1] функции автокорреляции имеют вид убывающих зависимостей, которые аппроксимируются экспоненциальными функциями с показателями степени в диапазоне $-0.2, \dots, -0.7$. Поэтому при описании структурно-текстурных характеристик изображений ЛК вероятностную зависимость значений яркости пикселей космического снимка (КС) можно представить в виде марковской модели [3].

В случае окрестности $m = \sqrt{2}$ математической формой описания двухмерной марковской модели изображения является матрица переходных вероятностей значений яркости L_1 и L_2 соседних пикселей КС, которую также называют матрицей смежных вероятностей (МСВ) [2]. При этом пиксел с координатами x, y имеет яркость L_1 , а значение L_2 является средним значением яркости пикселей из окрестности $m = \sqrt{2}$. Учитывая, что яркость изображения обычно передается 8-ми разрядным кодом, для 256 градаций яркости МСВ имеет размер 256^2 элементов. Элемент P_{12} матрицы является оценкой вероятности наличия в изображении смежных пикселей, имеющих значения оптической яркости L_1 и L_2 . Величина P_{12} определяется как отношение количества пар смежных пикселей, имеющих яркости L_1 и L_2 , к общему числу различных сочетаний значений яркости в анализируемом изображении ЛК.

МСВ служат основой для вычисления структурных признаков ЛК. Известные методы оценки пространственной структуры изображений на основе статистических характеристик МСВ заключаются в вычислении совокупности параметров Харалика [6] или значений взаимной корреляционной функции для МСВ исследуемого и эталонного объекта [4].

Для сокращения вычислительных операций, с учетом анализа МСВ изображений ЛК, нами была выполнена замена вероятностей значений яркости смежных пикселей на вероятности разностей их яркостей (контрастов), которые обозначаются Δ .

В итоге были получены матрицы оценок вероятностей значений контрастов яркости $p(\Delta)$, $\forall \Delta \in \overline{0, 2^N - 1}$, где $2^N \times 1$ - размерность этих матриц, N - разрядность цифрового снимка. Элемент матрицы вероятностей $p(\Delta)$ является

оценкой вероятности наличия в изображении смежных пикселей, контраст яркостей которых - Δ . Величина $p(\Delta)$ определяется как отношение количества пар смежных пикселей, имеющих яркости L_i и $L_i - \Delta$ или L_i и $L_i + \Delta$, к общему числу различных контрастов значений яркости в анализируемом изображении ЛК.

В данной работе рассмотрена возможность применения матриц вероятностей контрастов (МВК) при дешифрировании КС, для определения на основе техники декомпозиции относительных площадей участков составляющих ЛК;

Для решения этих задач необходимо располагать базой данных космических изображений различных эталонных участков, составляющих ЛК. В первом случае для каждого выбранного эталонного участка по яркости изображений определяются усредненные значения $p(\Delta)$ ($\forall \Delta \in \overline{0, 2^N - 1}$) и их доверительные интервалы.

Затем выполняются следующие операции:

1. Оценка взаимной разделимости характеристик различных по составу эталонных тестовых участков на основе выражения:

$$D_{nk}^{ec} = \sum_{\Delta=1}^t \left[p_n^{ec}(\Delta) - p_k^{ec}(\Delta) \right]^2 \quad (1)$$

где D_{nk}^{ec} - расстояние в пространстве Δ между элементами матриц n -го и k -го эталонных тестовых участков, c - порядковый номер спектрального слоя КС, t - максимальное из всех значений Δ , $p_n^{ec}(\Delta)$ и $p_k^{ec}(\Delta)$ - элементы МВК для n -го и k -го эталонных участков соответственно.

Пороговое значение D^* определяется исходя из значений доверительных интервалов для $p_n^{ec}(\Delta)$ и $p_k^{ec}(\Delta)$. При $D_{nk}^{ec} \geq D^*$ участки, составляющие ЛК, различимы, а при $D_{nk}^{ec} < D^*$ - неразличимы.

2. Определение в каждом спектральном слое КС значений МВК для v -ого исследуемого участка ЛК и вычисление расстояния D_{qv}^c между элементами матриц v -ого исследуемого участка и q -го эталонного ЛК в пространстве Δ , ($\forall \Delta \in \overline{1, t}$)

$$D_{qv}^c = \sum_{\Delta=1}^t \left[p_q^{ec}(\Delta) - p_v^c(\Delta) \right]^2, \quad (2)$$

где $\forall q \in \overline{1, M}$, M - количество выбранных эталонных участков, $\forall c \in \overline{1, C}$, C - количество спектральных слоев КС.

3. Определение по каждому спектральному слою КС функций принадлежности ν -го исследуемого участка F_{qv}^c к каждому эталонному участку:

$$F_{qv}^c = 1 - \frac{D_{qv}^c - \min_q(D_{qv}^c)}{\max_q(D_{qv}^c) - \min_q(D_{qv}^c)} \quad (3)$$

где $\max_q(D_{qv}^c)$ и $\min_q(D_{qv}^c)$ – максимальное и минимальное значения D_{qv}^c .

4. Определение функций принадлежности F_{qv}^Σ по всем спектральным слоям КС

$$F_{qv}^\Sigma = \sqrt{\sum_c (F_{qv}^c)^2} \quad (4)$$

5. В случае неоднородного состава ν -ого исследуемого участка методом декомпозиции определяются соотношение площадей этих составляющих участка.

$$S_{nv} = 1 - \frac{\sqrt{\sum_c (D_{nv}^c)^2}}{\sqrt{\sum_c (D_{nv}^c)^2} + \sqrt{\sum_c (D_{kv}^c)^2}}$$

$$S_{kv} = 1 - \frac{\sqrt{\sum_c (D_{kv}^c)^2}}{\sqrt{\sum_c (D_{nv}^c)^2} + \sqrt{\sum_c (D_{kv}^c)^2}} \quad (5)$$

где S_{nv} и S_{kv} - относительные площади на исследуемом участке, занятые n -м и k -м типами ЛК.

Для демонстрации метода МВК и техники декомпозиции при дешифрировании космических изображений ЛК был использован летний КС SPOT Киевской области (рис. 1). В качестве эталонных участков на рисунке выбраны фрагменты леса (1) и городской застройки (4), для которых были вычислены МВК. Последние можно

представить графически (рис. 2): горизонтальная ось соответствует значениям контрастов яркости - Δ , а вертикальная - значениям вероятности этих контрастов $p(\Delta)$. Графики МВК для эталонных составляющих ЛК свидетельствуют о достаточном для их классификации различии. Продолжением эксперимента был выбор на КС двух участков ЛК с неизвестным соотношением площадей, занятых лесом и городской застройкой (2 и 3), с последующим определением этого соотношения. В результате обработки изображений исследуемых участков были определены значения $p^c(\Delta)$ ($\Delta=0, 1, \dots, 31$) в трех спектральных слоях (0.5-0.6; 0.6-0.7; 0.8-0.9 нм) и составлены МВК для каждого спектрального слоя. По формуле (2) были получены расстояния D_{qv}^c , на основании которых в соответствии с (5) были определены относительные площади составляющих исследуемые участки ЛК (табл. 1).

Таблица 1.

Соотношения площадей леса и городской застройки на исследуемых участках

Участок	2						3					
	Лес (1)			Гор. застр.(4)			Лес (1)			Гор. застр.(4)		
Расстояния	$D_{1,2}^1$	$D_{1,2}^2$	$D_{1,2}^3$	$D_{4,2}^1$	$D_{4,2}^2$	$D_{4,2}^3$	$D_{1,3}^1$	$D_{1,3}^2$	$D_{1,3}^3$	$D_{4,3}^1$	$D_{4,3}^2$	$D_{4,3}^3$
	2.2	1.5	2.0	4.2	3.9	5.3	4.3	5.6	6.0	3.8	4.3	5.0
Площади	$S_{1,2}$			$S_{4,2}$			$S_{1,3}$			$S_{4,3}$		
	0.70			0.299			0.45			0.549		

В табл.1 приняты следующие обозначения: $D_{1,2}^1$ - расстояние в пространстве Δ между элементами матриц 2-го исследуемого участка и 1-го эталонного участка (лес) для 1-го спектрального канала снимка, $S_{1,2}$ - относительная площадь на 2-м исследуемом участке, занятая 1 - ым типом составляющих ЛК (лес). Аналогично для $S_{1,3}$, $S_{4,2}$, $S_{4,3}$, $D_{4,2}^1$, $D_{4,3}^1$

Таким образом, на участке 2 лес составлял 70% территории, а городская застройка 30%. На участке 3 – 45% и 55% соответственно, что с приемлемой для практики точностью было подтверждено наземными измерениями.

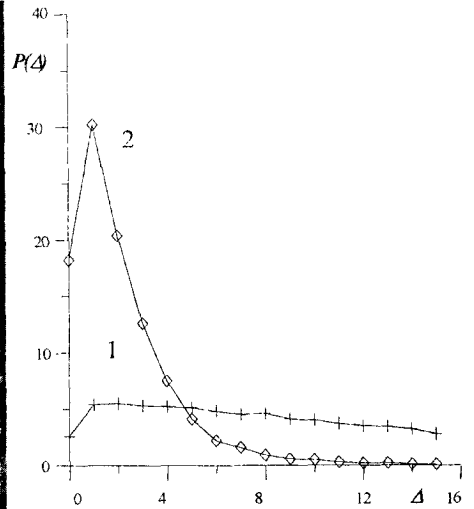


Рис. 2. Графики МВК: городская застройка - 1, лес - 2.

Рис. 1. Фрагмент космического снимка Киевской области (ИСЗ Spot): участок леса - 1, участки, содержащие лес и городскую застройку - 2 и 3, городская застройка - 4.

Список литературы

1. Викторов А.С. Рисунок ландшафта. - М.: "Мысль", 1986, 180с.
2. Красильников Н. Н. Теория передачи и восприятия изображений. - М.: Радио и связь, 1986.- 248 с.
3. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов. М. 1978, 848 с.
4. Янутш Д.А. Дешифрирование аэрокосмических снимков. - М.: Недра, 1991. 240 с.
5. Ярославский Л.П. Цифровая обработка сигналов в оптике и голографии: Введение в цифровую оптику. - М.: Радио и связь, 1987.-296 с.
6. Haralick R.M. Statistical and structural approaches to texture // Proc. IEEE. 1979. V. 67. №5. P. 786.
7. Rabiner L.R. A tutorial on hidden Markov models and selected applications in speech recognition.-Proc. IEEE, 1989, v. 77, № 2, p. 257-285.