

МЕТОДИКА КЛАССИФИКАЦИИ ПЛОЩАДНЫХ ОБЪЕКТОВ НА МНОГОСПЕКТРАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ НА ОСНОВЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО СЛИЯНИЯ ИНФОРМАЦИИ

В.И. Лялько, М.А. Попов, В.Н. Подорван, А.И. Сахацкий

*Центр аэрокосмических исследований Земли Института геологических наук
Национальной академии наук Украины (ЦАКИЗ)
01601 Украина Киев, ул. О. Гончара, 55-б
E-mail: pop@casre.kiev.ua*

Разработана новая методика классификации природных площадных объектов (например, лесов) на многоспектральных космических изображениях. Ключевыми элементами методики являются механизм оценки информативности спектральных каналов и последовательное слияние информации, получаемой в разных каналах. Приведены результаты исследования эффективности разработанной методики с использованием реальных космических снимков.

В последние годы при решении различных природоресурсных задач все шире используются много- и гиперспектральные системы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса [1, 2]. Однако их главное преимущество – повышенная информативность – может быть реализовано только при наличии эффективных методик обработки получаемой видовой информации. В данной работе описывается одна из подобных методик.

Постановка задачи

Предположим, область земной поверхности, которая находится в пределах угла поля зрения видового (иконического) технического средства ДЗЗ, преобразуется оптико-электронной системой последнего в цифровое изображение A . Цифровое изображение состоит из конечной совокупности пикселей, что можно записать как

$$A = \bigcup_k a_k,$$

где через a_k обозначен k -й пиксел изображения; $k = 1, 2, \dots, K$; K – общее количество пикселей в цифровом изображении.

Известно, что отдельные области изображения A могут принадлежать различным классам. Будем считать, что всего рассматривается до M классов и при этом каждая конкретная область принадлежит к какому-то одному и только одному классу m , а m – это целое число из ряда $1, 2, \dots, M$. Тогда можно записать:

$$A = \bigcup_{m=1}^M A^{(m)}; \quad A^{(m)} = \bigcup_{q=1}^{k^m} a_q^{(m)},$$

где k^m – общее число пикселей в изображении A , которые принадлежат m -у классу; $a_q^{(m)}$ – пиксел, принадлежащий m -у классу; $A^{(m)}$ – область на изображении, которая охватывает все пиксели, принадлежащие m -у классу. Понятно, что $\sum_{m=1}^M k^m = K$.

Выделим в плоскости изображения некую произвольную (не обязательно компактную) область $A^{(*)} \in A$; $A^{(*)} = \bigcup_q a_q^{(*)}$; $q = 1, 2, \dots, k^*$, и поставим задачу ее классификации.

Обсуждение постановки задачи

Итак, объект классификации является площадным, но форма объекта не включена в набор его опознавательных признаков. Поэтому задачу классификации любой выделенной области $A^{(*)}$ будем рассматривать как задачу классификации пикселей изображения, входящих в эту область.

В процессе проведения космической съемки земной поверхности с помощью многоспектрального видового технического средства ДЗЗ формируется одновременно до N спектральных изображений

сцены, и потому любой пиксел многоспектрального изображения может быть описан совокупностью из N значений интенсивности в соответствующих зонах (каналах) рабочего спектрального диапазона технического средства. Эти значения интенсивности пиксела в различных спектральных зонах являются признаками (спектральными сигнатурами), лежащими в основе его классификации.

Известно достаточно большое число методов и алгоритмов классификации объектов по их спектральным сигнатурам [1-3]. В большинстве своем они основаны на формировании многомерного (по числу спектральных каналов) признакового пространства, определении в нем местоположения изучаемого объекта и принятии решения с помощью подходящего статистического правила. Однако вычислительная сложность этих алгоритмов существенно зависит от общего количества спектральных каналов, которое в современных гиперспектральных системах ДЗЗ может измеряться несколькими сотнями. Кроме того, практический опыт работы по интерпретации многоспектральных изображений показывает, что наибольшая часть видовой (иконической) информации, необходимой для принятия решения о классификации, сосредоточена обычно всего в нескольких зональных изображениях. Необходимо при этом отметить, что выбор наиболее информативных зональных изображений является актуальной задачей, пока не имеющей общего решения [3].

Таким образом, решение поставленной задачи может быть связано с разработкой новой методики классификации объектов на многоспектральных космических изображениях.

При разработке методики предполагается, что:

- в многоспектральном космическом изображении ранее выполнены необходимые работы по его радиометрической и геометрической коррекции, а также осуществлена пространственная привязка;
- классификация – контролируемая, т. е. необходимые наземные заверочные данные по выборкам объектов разных классов могут быть получены;
- число спектральных каналов, необходимых для классификации, должно минимизироваться.

Общая схема методики классификации

В разработанной методике классификации площадных объектов на многоспектральных космических изображениях предусмотрено четыре этапа – 1) этап создания информационной базы (ИБ); 2) оценка информативности спектральных каналов; 3) этап классификации; 4) вычисление пространственных, статистических и других характеристик проклассифицированных объектов-областей (рис. 1).



Рис. 1. Схема методики классификации

ИБ создается на основе использования заверочной информации по каждому классу наземных объектов. ИБ должна содержать данные по распределению значений спектральных интенсивностей пикселов, принадлежащих изображениям объектов различных классов. Заверочные данные включают в себя информацию о пространственном расположении на Земле (координатах) всех элементов площадных объектов - представителей различных классов.

ИБ включает в себя перечень подобластей, принадлежащих разным классам, с указанием их расположения на изображении (снимке), а также значений спектральных интенсивностей пикселов, образующих

эти подобласти. Размер каждой подобласти фиксируется в базе, но при этом не требуется, чтобы размеры областей были одинаковыми (содержали одинаковое количество пикселей). Кроме того, в ИБ записываются данные, которые получают в процессе оценки информативности спектральных каналов.

Основная идея, на которой базируется оценка информативности спектральных каналов, состоит в следующем. Понятно, что задача классификации может быть решена с помощью использования каждого отдельного спектрального канала, однако при этом в один и тот же класс могут в общем случае попадать объекты разных классов. При этом, очевидно, результаты и достоверность классификации будут разными. Поэтому есть все основания оценивать информативность каждого спектрального канала по его способности обеспечивать разделение объектов при классификации и считать наиболее информативным тот спектральный канал, который обеспечивает наилучшее разделение объектов различных классов. Ниже вводится механизм для количественной оценки такой способности.

Процедура классификации выделенной области изображения начинается после заполнения ИБ и является двухступенчатой. Сначала выполняется последовательная и независимая классификация всех пикселей, входящих в состав заданной области. Классификация проводится с учетом требования минимизации числа задействуемых спектральных каналов. При этом классификация является «нежесткой», т. е. с каждым пикселем может связываться несколько вариантов его классовой принадлежности, для каждого из которых определяется соответствующая достоверность с использованием принципа слияния информации, сущность которого описана ниже. После этого выполняется уточняющая классификация пикселей, при которой возможна переклассификация пикселя с учетом его окружения.

К числу пространственных, статистических и других характеристик проклассифицированных областей могут относиться выделение контура области, измерение его длины, вычисление площади и т. д. Достаточно часто решение этих задач требует дополнительной обработки изображения, в частности, применения алгоритмов структурной обработки сигналов изображения, агрегирования и др. Для этого в состав программного обеспечения методики включены соответствующие машинные программы.

Механизм оценки информативности спектральных каналов

Пусть $k_{n\sigma}^m$ – число пикселей в изображении A , которые принадлежат подобласти $A_{n\sigma}^{(m)}$ m -го класса, используемой при создании ИБ. Тогда общее количество пикселей всех подобластей будет $k_{\Sigma} = \sum_{m=1}^M k_{n\sigma}^m$. Обозначим распределение значений интенсивностей произвольного пикселя a_q в различных каналах многоспектрального изображения как $\{U_{q,1}, U_{q,2}, \dots, U_{q,n}, \dots, U_{q,N}\}$.

Интенсивности в произвольном n -ом спектральном канале расположены в некотором диапазоне значений; ограниченном вполне определенными минимальным и максимальным значениями. Обозначим этот диапазон как d_n ,

$$d_n = \max_{q \in A_{n\sigma}} (U_{q,n}) - \min_{q \in A_{n\sigma}} (U_{q,n}); \quad (1)$$

здесь $A_{n\sigma} = \bigcup_{m=1}^M A_{n\sigma}^{(m)}$

Разобьем диапазон значений интенсивностей в n -ом спектральном канале на равные интервалы шириной $\Delta d = \frac{d_n}{k_{\Sigma}}$. Класс с номером m будем называть сопоставленным определенному интервалу, если в подобласти $A_{n\sigma}^{(m)}$ обнаруживается пиксельный объект, значение интенсивности которого попадает в этот интервал.

Если диапазон значений интенсивностей пикселей разных классов в каждой из N спектральных зон разделен на соответствующие интервалы, то для любого спектрального канала можно определить, в какой именно интервал попали конкретные представители разных классов из подобласти $A_{n\sigma}$, а потом подсчитать количество попаданий классов в соответствующие интервалы. Разумеется, распределение попаданий классов по интервалам будет отличаться для разных спектральных каналов, а это означает, что разные спектральные каналы неодинаково эффективны при классификации объектов.

Чтобы количественно оценить эту эффективность, введем, по аналогии с [4], функцию F

$$F = 1 - \frac{1}{M(M-1)} \cdot \sum_{m=1}^M \frac{\sum_{j=1}^{nz} \left(l_{mj} \cdot \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq m}}^M l_{kj} \right)}{\sum_{j=1}^{nz} l_{mj}} \quad (2)$$

где nz – общее число интервалов в спектральном канале; l_{mj} – индикатор сопоставления,

$$l_{mj} = \begin{cases} 1, & \text{если классу } m \text{ сопоставлен интервал } j \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases}$$

Можно показать, что область значений функции F находится в пределах от 0 до 1, причем среди спектральных каналов тот будет характеризоваться наибольшим значением функции F , в котором число классов, одновременно сопоставленных каждому интервалу, минимально, т. е. разделимость классов наилучшая. Поэтому функцию F далее будем называть функцией информативности спектральных каналов. Используя эту функцию, нетрудно по данным ИБ оценить информативность каждого спектрального канала и далее проранжировать каналы в соответствии с их информативностью. Ранги спектральных каналов записываются в ИБ.

Механизм классификации объектов

До начала классификации, используя выражение (6), осуществляется подсчет количества попаданий пиксельных объектов определенного класса в каждый интервал для очередного спектрального канала. Процентное содержание количества попаданий в один интервал спектрального канала для объектов одного класса будем называть достоверностью этого класса (в соответствующем интервале спектрального канала) и обозначать буквой μ . Совокупность этих достоверностей образует интервальное представление объектов разных классов, которое записывается в ИБ и служит в качестве опорной информации при проведении классификации.

После того, как определена область изображения, подлежащая классификации, проводится последовательная и независимая классификация пикселей, входящих в состав этой области. Для произвольного q -го пиксела a_q выполняется следующая последовательность операций:

1. Выбирается наиболее информативный спектральный канал и в нем отыскивается интервал, внутри которого находится значение спектральной интенсивности рассматриваемого пиксела. Составляется кортеж L_1 достоверностей из этого интервала;
2. Выбирается следующий по информативности спектральный канал и аналогичным образом составляется кортеж L_2 ;
3. Из кортежей L_1 и L_2 методом слияния информации формируется результирующий кортеж L_R , в котором представлены (в порядке убывания) значения ненулевых достоверностей классовой принадлежности рассматриваемого пиксела;
4. Если число элементов в кортеже L_R оказывается превышающим заданное (обычно это число принимается равным двум или трем), то включается в классификацию очередной по информативности спектральный канал, в нем, как и ранее, отыскивается интервал, в котором находится значение спектральной интенсивности пиксела и составляется новый кортеж L_1 . Этот новый кортеж объединяется методом слияния информации с кортежем L_R , и в результате формируется новый результирующий кортеж, и т. д.;
5. Классификация пиксела считается выполненной, когда число элементов в кортеже L_R оказывается не превышающим заданное.

По окончании классификации всех пикселей, входящих в состав рассматриваемой области изображения, осуществляется уточняющая переклассификация пикселей с учетом окружения, т. е. пространственной структуры области.

Слияние информации из кортежей L_1 и L_2 , осуществляется согласно следующему правилу.

1. Если один и тот же номер класса присутствует в обоих кортежах, причем его достоверность в первом кортеже равна μ_1 , во втором – μ_2 , то достоверность μ_R этого класса в результирующем кортеже рассчитывается по формуле:

$$\mu_R = \frac{\mu_1 + \mu_2 - \mu_1 \cdot \mu_2}{1 + \mu_1 + \mu_2 - 2\mu_1 \cdot \mu_2}; \quad \mu_1 > 0; \quad \mu_2 > 0.$$

2. Если номер класса присутствует только в одном кортеже из двух, то далее этот класс исключается из рассмотрения (значение μ_R для соответствующего класса принимается равным нулю).

Программное обеспечение методики классификации и результаты исследования ее эффективности

Предложенная методика была реализована в программе InfoSpectr, разработка которой осуществлялась на основе пакета Visual Basic 7.0. Модули разработанной программы и их структурно-функциональное взаимодействие показаны на рис. 2.

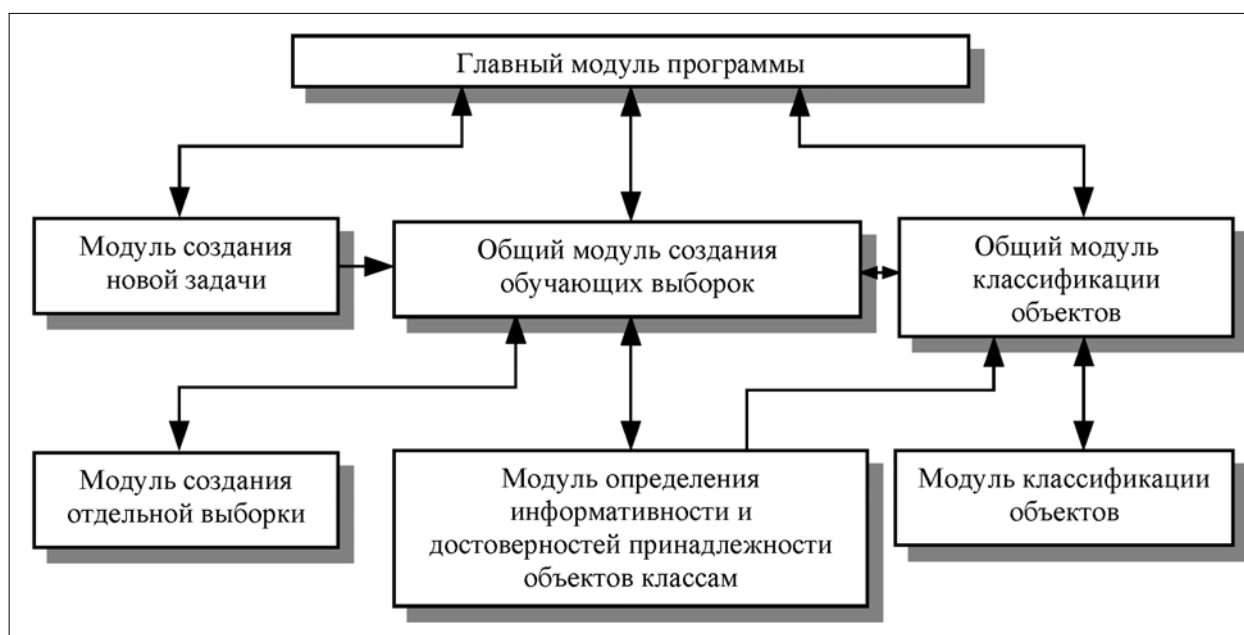


Рис. 2. Модульная структура программы InfoSpectr

Главный модуль программы осуществляет общее управление программным кодом программы и связь с другими программными приложениями. Модуль создания новой задачи предназначен для работы на первом этапе работы с программой – когда нужно указать выделенные классы, существующие спектральные изображения (каналы) и базовое изображение. Вид интерфейса этого модуля показан на рис. 3. В левой части рисунка – исходное (базовое) космическое изображение с объектами классификации (границы областей объектов очерчены пунктирными линиями). Общий модуль создания обучающих выборок предназначен для выделения области, на которой в дальнейшем определяются конкретные границы обучающей выборки, для загрузки модуля определения значений функции информативности и достоверностей принадлежности объектов классам. Общий модуль классификации изображения предназначен для задания области, на которой в дальнейшем выделяется очередной объект для классификации. Модуль создания отдельной выборки предназначен для определения границ обучающей выборки, класс которой выбран в общем модуле создания обучающих выборок. Модуль определения информативности и достоверностей принадлежности объектов классам обеспечивает создание ИБ для очередной задачи. Модуль классификации объектов предназначен для определения контура выделенной области и проведения классификации пикселей внутри этой области.

В качестве исходной была выбрана территория в северной части Киевской области Украины (Чернобыльская зона отчуждения), на которую мы располагали снимком, полученным оптическим сканером TM с космического аппарата Landsat-5 в семи различных спектральных каналах. Необходимые работы по радиометрической и геометрической коррекции снимка, а также его пространственная привязка выполнялись с помощью системы ERDAS Imagine.

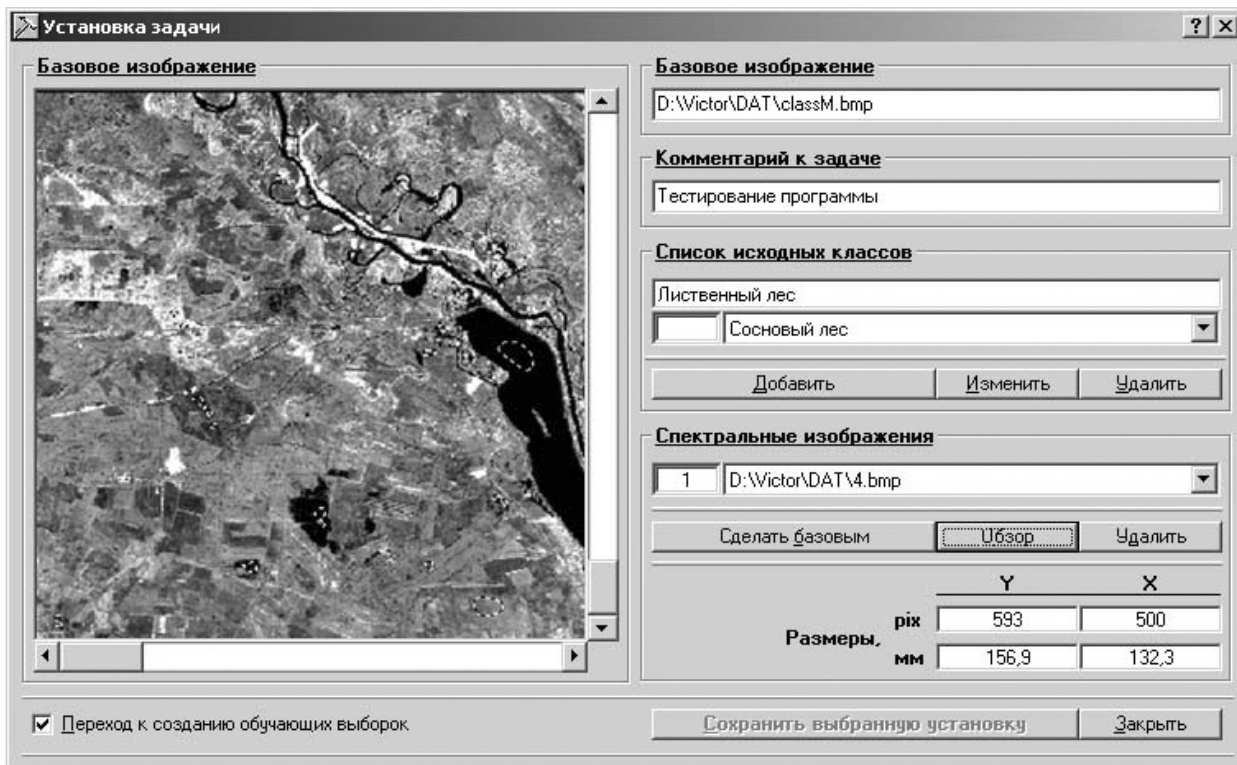


Рис. 3. Интерфейс модуля создания новой задачи

На местности и снимке было выделено 6 классов площадных объектов, а именно: 1 – лес после пожара; 2 – здоровый сосновый лес; 3 – сосновый лес, пораженный шелкопрядом; 4 – лиственный лес; 5 – травяные поля (луг, поляна); 6 – водоемы.

Таблица 1. Распределение информативности спектральных каналов

Ранг	1	2	3	4	5	6	7
Номер канала сенсора TM/Landsat	5	7	3	4	6	1	2
Спектральный диапазон, мкм	1,55–1,75	2,08 – 2,35	0,63 – 0,69	0,76 – 0,90	10,4 – 12,5	0,45 – 0,52	0,52 – 0,60
Информативность F	0,78	0,78	0,68	0,60	0,46	0,41	0,39

После создания ИБ были получены значения функции информативности F для различных спектральных каналов. Результаты ранжировки каналов по величине их информативности представлены в табл. 1, откуда видно, что наиболее информативным в данной задаче оказался 5-й канал сенсора ТМ (ближняя инфракрасная область), а наименее информативным – 2-й канал (красная зона видимого спектра).

Применение программы InfoSpectr для классификации объектов из числа названных выше классов, представленных на космическом изображении, дало результаты, сведенные в табл. 2. Среднее значение достоверности классификации составило 0,94.

Таблица 2. Достоверность классификации объектов различных классов

Номер класса	Содержание класса	Достоверность классификации
1	Лес после пожара	0,96
2	Здоровый сосновый лес	0,98
3	Сосновый лес, пораженный шелкопрядом	0,92
4	Лиственный лес	0,94
5	Травяные поля	0,83
6	Водоемы	0,99

Таким образом, экспериментальная проверка предложенной методики свидетельствует о ее эффективности при классификации площадных объектов с использованием реальных многоспектральных космических изображений.

Литература

1. *Еремеев В.А., Мордвинцев И.Н., Платонов Н.Г.* Современные гиперспектральные сенсоры и методы обработки гиперспектральных данных. - Исследование Земли из космоса, 2003, № 6, с. 80-90.
2. *Campbel J.B.* Introduction to Remote Sensing, 2nd ed. – London: Taylor & Francis, 1996. - 622 p.
3. *Seprico S.B., D'Inca M., Melgrani F., Moser G.* A comparison of feature reduction techniques for classification of giper-spectral remote-sensing data // Conference on Image and Signal Processing for Remote Sensing VIII, Agia Pelagia, Crete, 24-27 Sept., 2002. // Proc. SPIE. 2002. 4885, pp. 347-358.
4. *Вагин В.Н., Головина Е.Ю., Загорянская А.А., Фомина М.В.* Достоверный и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004, - с. 621-632.