

УДК 681.518

Технологические аспекты геоинформационной системы индексации и распространения аэрокосмических изображений*

А.Н. КОЛЕСЕНКОВ

390005, РФ, г. Рязань, ул. Гагарина, 59/1, Рязанский государственный радиотехнический университет, кандидат технических наук, доцент. E-mail: sk62@mail.ru

Рассмотрены методы, алгоритмы и технологические моменты геоинформационной системы поиска, индексации, каталогизации и распространения аэрокосмических снимков на основе кластерного и спектрального анализа. Разработана функциональная схема сервиса и структура базы географических данных на основе технологии географического online портала. Рассматривается информационное и алгоритмическое обеспечение системы. Рассмотрены возможные источники информации для наполнения базы геоданных. Предложен способ устранения информационной избыточности при обработке снимков для повышения скорости индексации изображений и сокращения времени доступа к ним. Предложена технология добавления в систему массивов снимков частными пользователями и организациями, сделанных с помощью профессиональных или любительских аппаратов, а также обработанных различными программными средствами. Разработан алгоритм распознавания элементов на основе нечеткой кластеризации цветных изображений для расширения возможностей поиска снимков в базе географических данных.

Ключевые слова: геоинформационная система, ГИС, индексация, каталогизация, данные, аэрокосмический снимок, спутниковый снимок, нечеткая кластеризация, распознавание, вегетационный индекс

DOI: 10.17212/1814-1196-2017-2-135-145

ВВЕДЕНИЕ

В процессе использования средств дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) появляется вопрос доступности получаемых данных для пользователей с учетом экономической целесообразности и рациональности. Учитывая быстро растущие объемы и разнородность результатов ДЗЗ, актуальной является задача разработки геоинформационной системы (ГИС) поиска, индексации, каталогизации и распространения аэрокосмических снимков [1]. Освоение больших объемов разнотипных пространственно-временных данных, вы-

* Статья получена 04 марта 2017 г.

Материал подготовлен при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (Обеспечение научных исследований) и Совета по грантам Президента Российской Федерации.

явление из них существенной информации и знаний, применение геоинформационных методов анализа и обработки географической информации о пространственно-временных объектах, явлениях и процессах позволит повысить эффективность применения данных ДЗЗ [2, 3]. В рассматриваемой области существуют следующие проблемы [4, 5]:

- 1) аэрокосмические снимки труднодоступны для потенциальных потребителей;
- 2) в существующих системах нет возможности добавлять пользовательские снимки;
- 3) снимки от большинства спутников недоступны в онлайн-режиме;
- 4) в существующих системах каталогизации и распространения аэрокосмических снимков ограничено количество параметров поиска.

Предлагаемая ГИС поиска, индексации, каталогизации и распространения аэрокосмических снимков разрабатывается для предоставления пользователям доступа к большим объемам данных ДЗЗ [3]. В его основе лежат алгоритмы, построенные на базе комплексного использования новых методов обработки структурированных и неструктурированных данных больших объемов, включая спектральный анализ в базисе Виленкина–Кристенсона [6] и методы нечеткой кластеризации данных [7, 8].

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

ГИС позволит передавать результаты аэрокосмических наблюдений и наблюдений за окружающей средой пользователям через глобальную сеть Интернет [9]. Главной особенностью сервиса является возможность частным пользователям и организациям добавлять в систему свои массивы снимков, сделанных с помощью профессиональных или любительских аппаратов, а также обработанных различными программными средствами.

Основные возможности ГИС:

- 1) систематизация данных ДЗЗ;
- 2) каталогизация данных ДЗЗ и атрибутивной информации;
- 3) нечеткая кластеризация данных для распознавания элементов на снимках;
- 4) быстрое извлечение информации о хранимых в архиве данных;
- 5) поиск и выборка данных.

Под каталогизацией спутниковых снимков будем понимать создание архива изображений и привязанных к ним метаданных с дополнительными характеристиками. Метаданные содержат следующую информацию [10]:

- общее описание данных;
- местонахождение данных;
- дата получения;
- сведения о поставщике.

В основе пакета метаданных лежит следующая информация о географических данных:

- идентификатор файла метаданных или записи о метаданных в базе геоданных;
- стандарт, используемый для описания метаданных;
- язык составления;
- дата составления;
- сведения об источнике.

Визуализация и анализ этих данных будут осуществляться в режиме online с использованием ГИС, размещенной в Интернете. Такую возможность предоставляют географические online порталы (ГОП), работа с которыми не требует наличия у пользователей специализированного программного обеспечения и знаний [11]. Современные ГИС-технологии позволяют объединить на ГОП разнородные и разнотипные данные из различных источников после их предварительной обработки. Для этого также требуется разработка новых и оптимизация существующих методов и алгоритмов обработки данных ДЗЗ.

Структурная схема системы состоит из следующих модулей.

Блок 1 – «Индексация». В данном блоке происходит автоматический поиск доступных аэрокосмических снимков на различных серверах по заданным параметрам.

Блок 2 – «Проверка оригинальности». Снимок сравнивается с ранее загруженными в базу снимками по ряду параметров, и если он не является копией уже сохраненных, то производится его запись в базу геоданных.

Блок 3 – «База географических данных».

Блок 4 – «Поиск изображений». Поиск изображения в базе геоданных по ряду критериев.

Данные ДЗЗ, картографическая и атрибутивная информация может храниться в специализированной базе геоданных. Поступающая новая информация предварительно обрабатывается, после чего происходит автоматическое обновление данных, дополнение архивов, а также генерация информационных продуктов различных форматов для конечных пользователей [12].

Разработана структура базы геоданных (рис. 1), представлены основные таблицы и их атрибуты. Сущность «Библиотека» содержит данные о сохраненных снимках, ссылки на источники, указывающие, где расположен файл, а также названия снимков. Сущность «Местоположение» содержит данные о части земной поверхности, отображаемой на данном снимке, а также координаты данной области. Сущность «Снимок» содержит информацию о загруженном снимке по данному местоположению, его название и дату съемки. Сущность «Проверка» необходима для сравнения двух снимков – из библиотеки и загруженного с сервера нового снимка, а также для обновления библиотеки снимков.

Перечень метаданных позволяет определить конкретный объект географических данных и провести к нему непосредственное обращение. Хранилище метаданных размещается на выделенном или распределенном облачном сервере. Это предоставляет удобный доступ к системе и данным каждому пользователю, имеющему подключение к сети Интернет.

Комплексное использование визуальных и инструментальных подходов совместно с эффективной высокоскоростной обработкой данных ДЗЗ позволит значительно расширить территорию мониторинга, увеличить ее периодичность, повысить оперативность обнаружения неблагоприятных факторов.

Учитывая разнородность информации, поступающей из различных источников, целесообразным является применение ГИС, позволяющих анализировать пространственное расположение объектов и территорий и проводить комплексную обработку информации [11, 13]. Геоинформационная система, как правило, базируется на картографической основе с единой систе-

мой координат, на базе геоданных, являющейся местом хранения информации об анализируемых объектах и территориях, на наборе алгоритмов и программных модулей для выполнения различных задач.

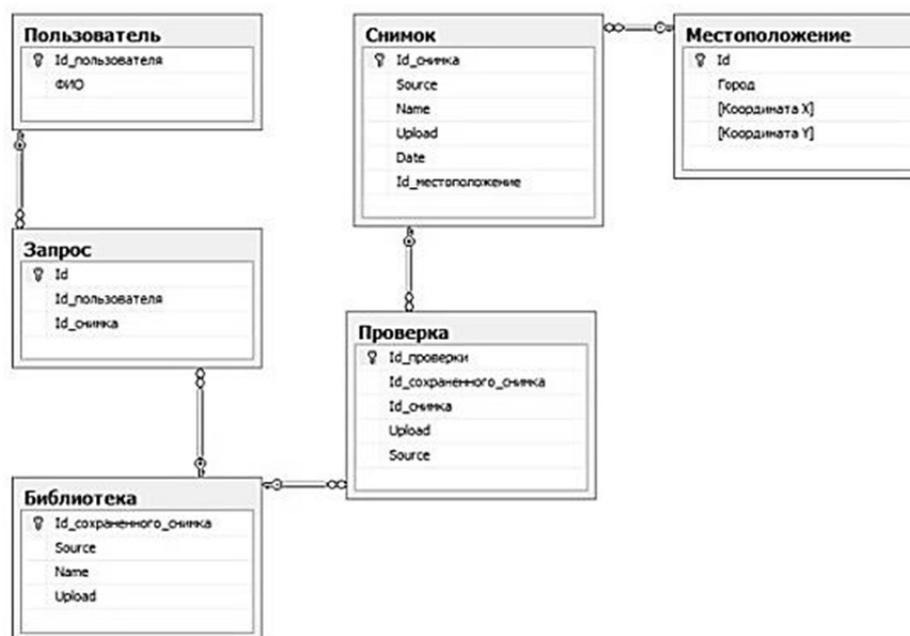


Рис.1. Физическая структура базы геоданных

В качестве технической основы мониторинга опасных объектов территорий в зависимости от типа и условий решаемой задачи предлагается использовать следующие источники данных дистанционного зондирования Земли [14]: российские и зарубежные космические аппараты, беспилотные летательные аппараты типа «Коптер», малоразмерные космические аппараты типа «Кубсат», пользовательские снимки.

Применение ГИС совместно с оперативной аэрокосмической информацией позволяет на порядок сократить время доступа, обработки и подготовки данных, что существенно повысит качество предоставляемой информации при решении задач прикладного характера.

Для реализации процесса каталогизации данных необходимо осуществлять привязку постигаемых в системы новых снимков к картографической основе. Для автоматизации этого процесса предлагается использовать алгоритм вычисления корреляционно-экстремальной функции двух изображений [6].

Современная аэрофотосъемка позволяет проводить съемку местности или наземных объектов с высоты от нескольких десятков метров до нескольких километров для последующего дешифрирования. Результатом цифровой аэрофотосъемки местности являются цифровые снимки, для обновления которых предлагается следующий алгоритм автоматической привязки.

Пусть $f_{ТИ}(i, j)$ – функция распределения яркости текущего изображения (ТИ) размером $N \times S$ элементов с координатами $i = \overline{0, N-1}$, $j = \overline{0, S-1}$;

$f_{\text{НИ}}(k, l)$ – функция распределения яркости нового изображения (НИ) размером $K \times L$ элементов с координатами ($k = \overline{0, K-1}, l = \overline{0, L-1}$).

Алгоритм.

1) Автоматический выбор реперных точек и фрагментов для привязки на ТИ.

2) Поиск отображения реперных точек на НИ.

3) Оценка корректности нахождения точек совмещения.

4) Совмещение изображений.

На втором этапе вычисляется корреляционная функция изображений и ее экстремум.

$$K_{\text{ВД}}(p, g) = \frac{1}{ML} \sum_{k=0}^{M-1} \sum_{l=0}^{M-1} [H_w F_{\text{ТИ}}(k, l) H_w] [H_w F_{\text{ТИ}}(k+p, l+g) H_w], \quad (1)$$

где H_w – матрица Адамара, $F_{\text{ТИ}}(k, l)$ и $F_{\text{ТИ}}(k+p, l+g)$ – матрицы элементов эталонного и текущего изображений.

Для уменьшения объема вычислений и удаления избыточности в данных при корреляционной обработке предлагаются следующие подходы:

1) устранение информационной избыточности методом высокочастотной фильтрации (рис. 2);

2) устранение информационной избыточности методом высокочастотной фильтрации;

3) применение квазидвумерного спектрального представления.

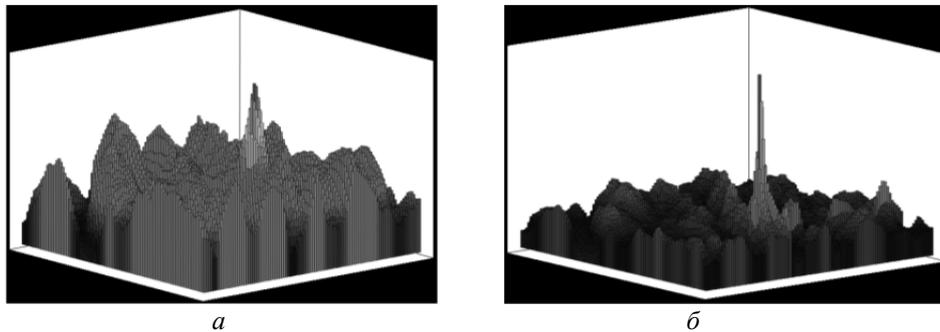


Рис. 2. Двумерная функция корреляции для полных спектров (а) и с устранением информационной избыточности (б)

Надежность совмещения оценивалась по формуле

$$r = M [K(i_n, j_n)] / [D[K(i_B, j_B)]]^{1/2}, \quad (2)$$

где (i_n, j_n) и (i_B, j_B) – аргументы оценки, соответствующие точке истинного совмещения и одной из точек области боковых пиков корреляционной функции; $M [K(i_n, j_n)]$ – математическое ожидание оценки корреляционной функции в точке истинного совмещения изображений; $D [K(i_B, j_B)]$ – дисперсия оценки корреляционной функции в области боковых пиков.

Результат привязки можно считать корректным при выполнении неравенства $r > r^*$, где r^* – пороговое значение.

Для выявления дополнительных характеристик снимка предлагается использовать вегетационные индексы, которые представляют собой показатели, получаемые в результате специализированной обработки мультиспектральных данных ДЗЗ.

Почвенный вегетационный индекс

$$SAVI(x, y) = \frac{(IR(x, y) - R(x, y))}{(IR(x, y) + R(x, y + L))} (1 + L), \quad (3)$$

где $IR(x, y)$ – значение яркости пикселя изображения ИК-диапазона; $R(x, y)$ – значение яркости пикселя изображения R-диапазона; (x, y) – локальные координаты пикселя.

Индекс глобального мониторинга окружающей среды, основанный на вычислении общей поправки для учета влияния атмосферы

$$GEMI(x, y) = E - 0,25E^2 - \left(\frac{R(x, y) - 0,125}{1 - R(x, y)} \right), \quad (4)$$

где

$$E = \left(\frac{2IR^2(x, y) + 0,5IR(x, y) - 2R^2(x, y) + 1,5IR(x, y)}{IR(x, y) + R(x, y) + 0,5} \right).$$

Вегетационный индекс, устойчивый к влиянию атмосферы

$$ARVI(x, y) = \left(\frac{IR(x, y) - B(x, y)}{IR(x, y) + B(x, y)} \right), \quad (5)$$

где $B(x, y)$ – значение яркости пикселя изображения В-диапазона.

Нормализованный разностный водный индекс

$$NDWI(x, y) = \left(\frac{K_{0,9}(x, y) - K_{1,2}(x, y)}{K_{0,9}(x, y) + K_{1,2}(x, y)} \right). \quad (6)$$

Использование этих индексов дает более точные результаты для оценки количества и состояния растительности. Использование отражения в узких спектральных каналах позволяет этим индексам фиксировать даже небольшие изменения состояния растительности. Но для расчета этих индексов необходимы данные в узких спектральных зонах. Индексы этой группы также отражают общее количество и состояние растительности.

В ГИС предлагается реализовать кластеризацию данных, что позволит осуществлять поиск изображений по критериям наличия на них определенных элементов. Для этого предлагается использовать метод кластеризации пикселей аэрокосмических изображений по уровням яркости на основе теории нечетких множеств [7]. Концепция частичной принадлежности, когда

пиксель изображения может принадлежать одновременно нескольким кластерам, позволяет более точно вычислить элементы кластера и использовать это для дальнейшей обработки изображения [17].

Модернизированный алгоритм нечеткой кластеризации сравнивает RGB-значение каждого пикселя со значением центра группы. Чем выше значение принадлежности, тем выше вероятность принадлежности пикселя этой группе.

Объединение в кластеры происходит путем минимизации целевой функции, показанной в уравнении

$$J = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^c \mu_{ik}^m |E_{ik}|, \quad (7)$$

где J – целевая функция; c – количество кластеров; n – количество пикселей; μ – значение принадлежности; m – параметр нечеткости; E_{ik} – евклидово расстояние между p_i и v_k .

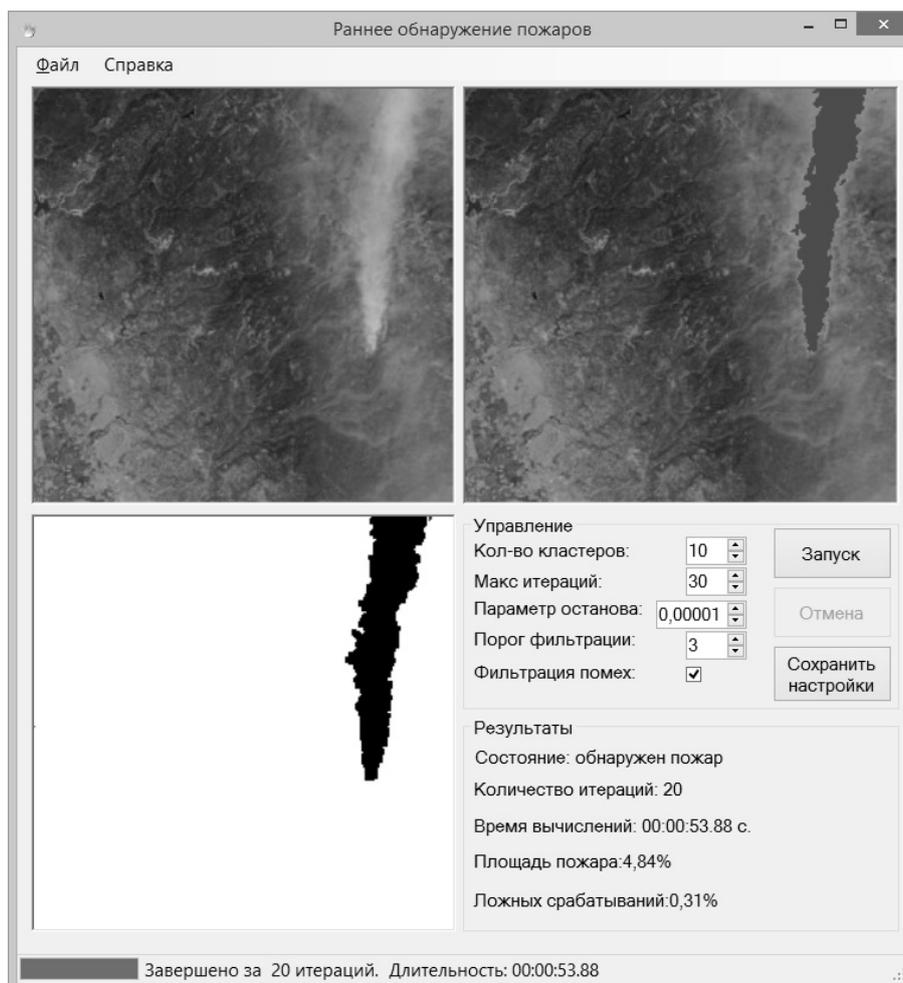


Рис. 3. Результаты идентификации дымового шлейфа на изображении

Предложенный алгоритм был расширен для объединения в кластеры цветных изображений в RGB-спектре (рис. 3). Для вычисления евклидова расстояния между p_i и v_k предложено использовать уравнение

$$|E_{ik}| = \sqrt{(p_{iR} - v_{kR})^2 + (p_{iG} - v_{kG})^2 + (p_{iB} - v_{kB})^2}, \quad (8)$$

где p_{iR} – значение красного цвета i -го пикселя, p_{iG} – значение зеленого цвета i -го пикселя, p_{iB} – значение синего цвета i -го пикселя, v_{kR} – значение красного цвета k -го центра кластера, v_{kG} – значение зеленого цвета k -го центра кластера, v_{kB} – значение синего цвета k -го центра кластера.

Выделение различных элементов на аэрокосмическом снимке позволит расширить возможности поиска изображений в базе геоданных, добавив такие параметры, как «процент облачности», «дым», «пожар», «дорожная сеть», «лес» и др.

При добавлении в систему снимков частными пользователями будет осуществляться автоматическая или полуавтоматическая привязка снимка к картографической основе и первичная обработка снимка на основе представленной технологии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение интеллектуальной ГИС поиска, индексации, каталогизации и распространения аэрокосмических снимков, работающей в близком к реальному режиму времени, обеспечит легкий доступ к информации, распространяемой сотнями поставщиков. Оригинальное алгоритмическое, информационное и программное обеспечение позволит снизить стоимость доступа к аэрокосмическим снимкам для потребителей до пяти раз по сравнению с существующими аналогами.

Сервис имеет предпосылки к коммерциализации. В результате проведенного анализа выявлены следующие возможные потребители продукта: научный сектор, экологический сектор, экстренные службы, энергетика, сельское хозяйство, лесное хозяйство, геоинформационные системы, интернет-приложения. Частные пользователи могут добавлять в систему свои снимки, полученные с помощью любительской техники или обработанные программными средствами, получая оплату в случае использования этих снимков другими пользователями. При накоплении в архиве данных за определенный период появляется возможность статистического анализа как средствами ГОП, так и с помощью независимого программного обеспечения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Gonzalez R.C., Woods R.E.* Digital image processing. – 3rd ed. – Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2008.
2. *Pratt W.K.* Introduction to digital image processing. – Boca Raton, FL: CRC Press, 2014.
3. *Мачнева Е.И.* Применяемые методы индексации спутниковых изображений при формировании каталогов данных дистанционного зондирования земли // Молодежь и наука: сборник материалов VI Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2011.

4. Колесенков А.Н., Юрьев П.Н. Разработка алгоритма аэрокосмического ГИС-мониторинга экосистем // Актуальные проблемы математики и информатики: теория, методика, практика: сборник научных трудов. – Елец: ЕГУ им. И.А. Бунина, 2015. – С. 143–147.

5. Algorithms of fire seat detection, modelling their dynamics and observation of forest fires via communication technologies / A.N. Kolesenkov, B.V. Kostrov, V.N. Ruchkin, E.V. Ruchkina // 4th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO 2015). – Piscataway, NJ: IEEE, 2015. – P. 254–257.

6. Злобин В.К., Колесенков А.Н., Костров Б.В. Корреляционно-экстремальные методы совмещения аэрокосмических изображений // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2011. – № 37. – С. 12–17.

7. Агафонов А.М., Колесенков А.Н., Сарычев Н.А. Применение метода нечеткой кластеризации элементов аэрокосмических изображений для мониторинга территорий и опасных объектов // Наука и образование в жизни современного общества: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 14 т. – Тамбов, 2015. – Т. 10. – С. 16–17.

8. Колесенков А.Н., Мелкова Д.А. Методы кластеризации данных в геоинформационных системах // Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2016: сборник трудов международной научно-технической и научно-методической конференции: в 4 т. / под общ. ред. О.В. Милвзорова. – Рязань, 2016. – Т. 2. – С. 121–123.

9. Колесенков А.Н., Костров Б.В. Алгоритм автоматической привязки аэрокосмических изображений // Тезисы докладов Третьей международной научно-технической конференции "Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли". – М., 2015. – С. 166–168.

10. The directions for collaborate usage of flight apparatus technical vision system information and electronic cartography / A.N. Kolesenkov, S. Babaev, A. Baranchikov, N. Grinchenko, A. Loginov // 5rd Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO 2016): proceedings, Bar, Montenegro. – Piscataway, NJ: IEEE, 2016. – P. 153–157.

11. Колесенков А.Н., Таганов А.И. Разработка интеллектуального онлайн сервиса каталогизации и распространения аэрокосмических снимков // Форум проектов программ союзного государства – V Форум ВУЗов инженерно-технологического профиля: сборник материалов. – Минск, 2016. – С. 57–59.

12. Колесенков А.Н., Костров Б.В., Ручкин В.Н. Методика интеллектуального обнаружения, моделирования и сопровождения пожаров // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2015. – № 5-2. – С. 266–274.

13. Колесенков А.Н. Технология поддержки принятия управленческих решений на основе оперативного мониторинга пожарной обстановки // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2015. – № 9. – С. 157–163.

14. Taganov A, Kolesenkov A., Babev S. Ecological monitoring of dangerous objects on the basis of vegetation indexing and evolutionary approach // 5rd Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO 2016), Bar, Montenegro: proceedings. – Piscataway, NJ: IEEE, 2016. – P. 468–472.

15. Колесенков А.Н., Цегельник Д.В. Математические методы распознавания аэрокосмических изображений в геоинформационных системах // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ. – 2016. – Т. 5. – С. 68–71.

16. Колесенков А.Н. Современные подходы к обработке данных при построении геоинформационных систем экологического мониторинга // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2016. – № 9. – С. 103–112.

Колесенков Александр Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры космических технологий Рязанского государственного радиотехнического университета. Основное направление исследований – геоинформационные системы. Имеет более 70 публикаций. E-mail: sk62@mail.ru

Technological aspects of geographic information system indexing and aerospace picture extension*

A.N. KOLESENKOV

Ryazan State Radio Engineering University, 59/1, Gagarin St., Ryazan, 390005, Russian Federation, PhD (Eng.), associate professor, E-mail: sk62@mail.ru

Methods, algorithms and technological aspects of the geographic information system (GIS) of search, indexing, cataloging and distribution of aerospace pictures based on the cluster and spectral analysis are considered. A functional scheme of the service and the structure of the geographic data base are developed based on the geographical online portal technology. The information and algorithmic support of the system is studied. Possible sources of information for filling the geodatabase are considered. A method is proposed to eliminate information redundancy when processing images to increase the speed of their indexing and to reduce the access time to them. A technology of adding pictures taken by professional or amateur devices to the picture array system by private users and organizations and processed by various software tools is proposed. An algorithm for recognizing elements based on fuzzy clustering of color pictures is developed to expand the ability of searching images in a geographic database.

Keywords: geoinformation system, GIS, indexing, cataloging, data, aerospace, satellite image, fuzzy clustering, recognition, vegetation index

DOI: 10.17212/1814-1196-2017-2-135-145

REFERENCES

1. Gonzalez R.C., Woods R.E. *Digital image processing*. 3rd ed. Upper Saddle River, NJ, Prentice Hall, 2008.
2. Pratt W.K. *Introduction to digital image processing*. Boca Raton, FL, CRC Press, 2014.
3. Machneva E.I. [The methods of indexing of satellite images in the formation of catalogues of data of remote sensing of the earth]. *Molodezh' i nauka: sbornik materialov VI Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh* [Youth and science: proceedings of the VI all-Russian scientific-technical conference of students, postgraduates and young scientists]. Krasnoyarsk, Siberian Federal University Publ., 2011. (In Russian).
4. Kolesenkov A.N., Yur'ev P.N. Razrabotka algoritma aerokosmicheskogo GIS-monitoringa ekosistem [Algorithm development for aerospace GIS monitoring of ecosystems]. *Aktual'nye problemy matematiki i informatiki: teoriya, metodika, praktika* [Actual problems of mathematics and Informatics: theory, methods, practice]. Elets, Bunin Yelets State University Publ., 2015, pp. 143–147.
5. Kolesenkov A.N., Kostrov B.V., Ruchkin V.N., Ruchkina E.V. Algorithms of fire seat detection, modelling their dynamics and observation of forest fires via communication technologies. *4th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO 2015)*. Piscataway, IEEE, 2015, pp. 254–257.
6. Zlobin V.K., Kolesenkov A.N., Kostrov B.V. Korrelyatsionno-ekstremal'nye metody sovmeshcheniya aerokosmicheskikh izobrazhenii [Correlation-extreme methods of combining aerospace images]. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo radiotekhnicheskogo universiteta – Vestnik of Ryazan State Radio Engineering University*, 2011, no. 37, pp. 12–17.
7. Agafonov A.M., Kolesenkov A.N., Sarychev N.A. [Application of the method of fuzzy clustering, elements of aerospace images for monitoring of areas and dangerous objects]. *Nauka i obrazovanie v zhizni sovremennogo obshchestva: sbornik nauchnykh trudov po materialam Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii: v 14 t.* [Science and education in modern society: collection of scientific works on materials of the International scientific-practical conference: in 14 vol.]. Tambov, 2015, vol. 10, pp. 16–17. (In Russian).
8. Kolesenkov A.N., Melkova D.A. [Techniques data clustering in geographic information systems]. *Sovremennye tekhnologii v nauke i obrazovanii – STNO-2016: sbornik trudov mezhdunarodnoi*

* Received 04 March 2017.

nauchno-tehnicheskoi i nauchno-metodicheskoi konferentsii: v 4 t. [Modern technologies in science and education – STNO-2016: in 4 vol.]. Ryazan', 2016, vol. 2, pp. 121–123. (In Russian).

9. Kolesenkov A.N., Kostrov B.V. [The algorithm of automatic binding space images]. *Tezisy dokladov Tret'ei mezhdunarodnoi nauchno-tehnicheskoi konferentsii "Aktual'nye problemy sozdaniya kosmicheskikh sistem distantsionnogo zondirovaniya Zemli"* [Abstracts of the Third international scientific-technical conference "Actual problems of creation of space systems of Earth remote sensing"]. Moscow, 2015, pp. 166–168. (In Russian).

10. Kolesenkov A.N., Babaev S., Baranchikov A., Grinchenko N., Loginov A. The directions for collaborate usage of flight apparatus technical vision system information and electronic cartography. *5rd Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO): proceedings*, Bar, Montenegro, 2016, pp. 153–157.

11. Kolesenkov A.N., Taganov A.I. Razrabotka intellektual'nogo onlain servisa katalogizatsii i rasprostraneniya aerokosmicheskikh snimkov [The development of intelligent online service cataloging and dissemination of space images]. *Forum proektov programm soyuznogo gosudarstva – V Forum VUZov inzhenerno-tehnologicheskogo profilya: sbornik materialov* [Forum of projects of Union state programs – V Forum of Universities of engineering and technology profile: collection of materials]. Minsk, 2016, pp. 57–59.

12. Kolesenkov A.N., Kostrov B.V., Ruchkin V.N. Metodika intellektual'nogo obnaruzheniya, modelirovaniya i soprovozhdeniya pozharov [The method of intellectual discovery, modeling and maintenance of fire]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki – News of the Tula state university. Technical sciences*, 2015, no. 5-2, pp. 266–274.

13. Kolesenkov A.N. Tekhnologiya podderzhki prinyatiya upravlencheskikh reshenii na osnove operativnogo monitoringa pozharnoi obstanovki [Technology of support management decisions based monitoring of fire situation]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki – News of the Tula state university. Technical sciences*, 2015, no. 9, pp. 157–163.

14. Taganov A., Kolesenkov A., Babev S. Ecological monitoring of dangerous objects on the basis of vegetation indexing and evolutionary approach. *5rd Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO 2016)*, Bar, Montenegro, 2016, pp. 468–472.

15. Kolesenkov A.N., Tsegel'nik D.V. Matematicheskie metody raspoznavaniya aerokosmicheskikh izobrazhenii v geoinformatsionnykh sistemakh [Mathematical methods of pattern recognition aerospace images in geographic information systems]. *Matematicheskie metody v tekhnike i tekhnologiyakh – MMTT – Mathematical Methods in Technique and Technologies – MMTT*, 2016, vol. 5, pp. 68–71.

16. Kolesenkov A.N. Sovremennyye podkhody k obrabotke dannykh pri postroenii geoinformatsionnykh sistem ekologicheskogo monitoringa [Modern approaches to the processing of data in the construction of information systems of environmental monitoring]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki – News of the Tula state university. Technical sciences*, 2015, no. 9, pp. 103–112.