

**Volkovitskiy Andrey Kirillovich**  
Institute of Control Sciences (ICS RAS).  
E-mail: avolkovitsky@yandex.ru.  
65, Profsoyuznaya street, Moscow, 117997, Russia.  
Phone: 84953347168.

УДК 681.3.01

**В.В. Щербинин, Е.В. Шевцова**

**АЛГОРИТМЫ ФРАГМЕНТАЦИИ ЦВЕТНЫХ ФОТОСНИМКОВ ДЛЯ  
ФОРМИРОВАНИЯ РАЗНОСЕЗОННЫХ ЭТАЛОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ  
ОПТИЧЕСКИХ КОРРЕЛЯЦИОННО-ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СИСТЕМ  
НАВИГАЦИИ ЛА**

*В работе рассматриваются алгоритмы фрагментации цветных фотоснимков для формирования разносезонных эталонных изображений корреляционно-экстремальных систем навигации ЛА с помощью базы данных спектральных коэффициентов яркости элементов ландшафта. Предложены три типа алгоритмов фрагментации: с помощью оператора, на основе кластерного анализа соответствующих векторов в RGB-пространстве, с помощью вейвлет-преобразования изображения.*

*Корреляционно-экстремальная система навигации; цветное изображение; кластерный анализ; вейвлет-преобразование.*

**V.V. Scherbinin, E.V. Shevtsova**

**THE COLOR PICTURES FRAGMENTATION ALGORITHMS FOR  
FORMATION DIFFERENT SEASONAL REFERENCE IMAGES OF THE  
AIRCRAFT CORRELATION-EXTREME NAVIGATION SYSTEMS**

*This paper presents the color pictures fragmentation algorithms for formation different seasonal reference images of the aircraft correlation-extreme navigation systems by means of brightness spectral factors database of landscape elements. The three types of fragmentation algorithms are offered: the operator algorithm, the cluster analysis algorithm of corresponding vectors in RGB-space and the image wavelet-transformation algorithm.*

*Correlation-extreme navigation; system color; picture cluster analysis; wavelet-transformation.*

Перспективным направлением развития оптических корреляционно-экстремальных систем наведения (КЭСН) летательных аппаратов (ЛА) является использование спектральных отражательных характеристик местности для формирования эталонного и текущего изображений местности. Одной из форм использования спектральных отражательных характеристик местности является формирование цветных (RGB) изображений. В этом случае цветные (RGB) изображения, предназначенные для формирования текущего изображения (ТИ) местности, формируются на борту ЛА с помощью бортовой видеокамеры, а в качестве цветных (RGB) изображений, предназначенных для формирования эталонного изображения (ЭИ) местности, используются цветные (RGB) фотоснимки, полученные космической или аэро-фотоаппаратурой. Для цветных изображений выбрана следующая форма представления принимаемого оптического сигнала [1]:

$$\bar{u}_{ij} = (\bar{r}_{ij}, \bar{g}_{ij}, \bar{b}_{ij}) = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{r_{ij}}{r^0}\right)^2 + \left(\frac{g_{ij}}{g^0}\right)^2 + \left(\frac{b_{ij}}{b^0}\right)^2}} \left( \frac{r_{ij}}{r^0}, \frac{g_{ij}}{g^0}, \frac{b_{ij}}{b^0} \right), \quad (1)$$

где  $r_{ij}$ ,  $g_{ij}$ ,  $b_{ij}$  –  $ij$ -й элемент цветного изображения подстилающей поверхности,

Сравнение цветных оптических ТИ и ЭИ, представляющих собой матрицы (соответствующей размерности), осуществляется с помощью функционала

$$R = \sum_i \sum_j \rho(\bar{e}_{ij}, \bar{t}_{ij}),$$

где  $\bar{e}_{ij}$ ,  $\bar{t}_{ij}$  – элементы цветных оптических ЭИ и ТИ соответственно;

$\rho(\bar{e}_{ij}, \bar{t}_{ij})$  – функция расстояния между векторами элементов цветных оптических изображений (при  $\rho(\bar{e}_{ij}, \bar{t}_{ij}) = (\bar{e}_{ij} * \bar{t}_{ij})$  –  $R$  является корреляционной функцией, давшей название рассматриваемому классу систем навигации и наведения ( $*$ ) – скалярное произведение двух векторов)).

Одним из основных преимуществ рассматриваемых типов КЭСН является возможность синтеза ЭИ местности одного сезона по фотоснимкам другого сезона. Основой указанного свойства является взаимнооднозначное соответствие природного/искусственного образования и его спектральных характеристик отражения в данный момент времени.

В соответствии с теоретическими и экспериментальными исследованиями [2, 3] ландшафты (на длине от сотен метров до десятков километров) представляют собой совокупность фаций – однородных по составу природных и искусственных образований (поле, поляна, берег реки, водная поверхность озера, однородный участок леса и т.д.). Фации в свою очередь, делятся на более мелкие и однородные образования – фрагментарии, у которых не только состав, но и условия (влажность, рельеф местности и т.д.) одинаковы. Спектральные коэффициенты яркости (СКЯ) фрагментариев в диапазоне длин волн 0,45...0,70 мкм в каждой точке практически одинаковы (с точностью ~ 10 % – максимальное отклонение). Спектральные кривые двух фрагментариев одной фации смещены друг относительно друга на постоянную величину. Многолетние проведенные исследования (как у нас в стране, так и за рубежом) позволили получить спектральные кривые значительного количества фрагментариев, находящихся в различных условиях и в различных сезонах. Поэтому по цветным изображениям местности одного сезона можно синтезировать цветное представление другого сезона. Для этого каждой точке выделенного и распознанного фрагментария присваивается значение сигнала (в форме (1)) в соответствии с имеющейся базой данных спектральных кривых фрагментариев. База данных создана на основе атласа СКЯ природных и искусственных образований Е.Л. Кринова [4].

Процедура подготовки ЭИ включает следующие этапы.

Этап 1. Фрагментация цветного космического или аэро-фотоснимка местности, дешифрирование и определение типажа элементов (фаций/фрагментариев) ее составляющих –  $\Omega_n$ , (так называемое формирование кластерно-мозаичной модели местности).

Этап 2. Вычисление значения  $k$ -й составляющей элемента ландшафта  $\Omega_n$  по формуле:

$$R_k(x, y) = R_k((x, y) \in \Omega_n) = \frac{1}{\Delta \lambda_k} \int_{\lambda_j}^{\lambda_j + \Delta \lambda_j} f_k(\lambda) r_T(\lambda, \Omega_n) d\lambda. \quad (2)$$

где  $f_k(\lambda)$  – передаточная функция для  $k$ -й составляющей (из RGB) фотоаппарата;  
 $r_T(\lambda, \Omega_n)$  – типовая кривая СКЯ (для данного сезона) элемента ландшафта  $\Omega_n$ .  
 Этап 3. Формирование матрицы ЭИ:

$$u_{ijk} = \frac{R_k(x, y)}{\sqrt{\sum_{k=1}^{k=3} R_k(x, y)^2}}. \quad (3)$$

Как показывают практические работы, этап 1 является наиболее трудоемким и наиболее продолжительным, так как все действия выполняются оператором вручную. Для уменьшения трудоемкости и времени подготовки ЭИ целесообразно автоматизировать операции этапа 1. И в первую очередь операцию фрагментации цветного космического или аэро-фотоснимка местности. При этом возможно применение следующих подходов:

- ◆ кластерный анализ в пространстве RGB;
- ◆ на основе вейвлет-преобразования цветных изображений.

Процедура кластерного анализа изображения представлена на рис. 1. Цель ее заключается в локализации в пространстве RGB «сгустков» векторов, представляющих собой RGB-отображения фрагментариев, в несколько кластеров (по числу фаций на фотоснимке местности) и в последующем отображении локализованных кластеров на изображении.

Выше отмечалось, что для фрагментации изображения (выделения особенностей) возможно применение вейвлет-преобразования. Одним из основных преимуществ вейвлет-преобразования является возможность выделения хорошо локализованных изменений сигнала. Ряды на основе вейвлет-преобразования удобны для рекуррентных вычислений, поскольку количество операций, необходимых для вычисления коэффициентов разложения так же, как и количество операций для восстановления функции по ее вейвлет-коэффициентам, пропорционально количеству отсчетов функции.

Вейвлеты используются или в качестве ядра интегрального преобразования

$$(W_\psi f)(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_R f(t) \cdot \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt, \quad a, b \in R, a > 0.$$

или в качестве генерирующей функции для построения ортонормированного базиса при помощи сжатий с сохранением нормы в пространстве  $L^2(R)$ :

$$\psi_j(t) = \psi_{j_0}(t) = 2^{\frac{j}{2}} \cdot \psi(2^j \cdot t), \quad j \in Z$$

и сдвигов  $\psi_{jk}(t) = \psi_j(t - k \cdot 2^{-j}) = 2^{\frac{j}{2}} \cdot \psi(2^j \cdot t - k), k \in Z.$

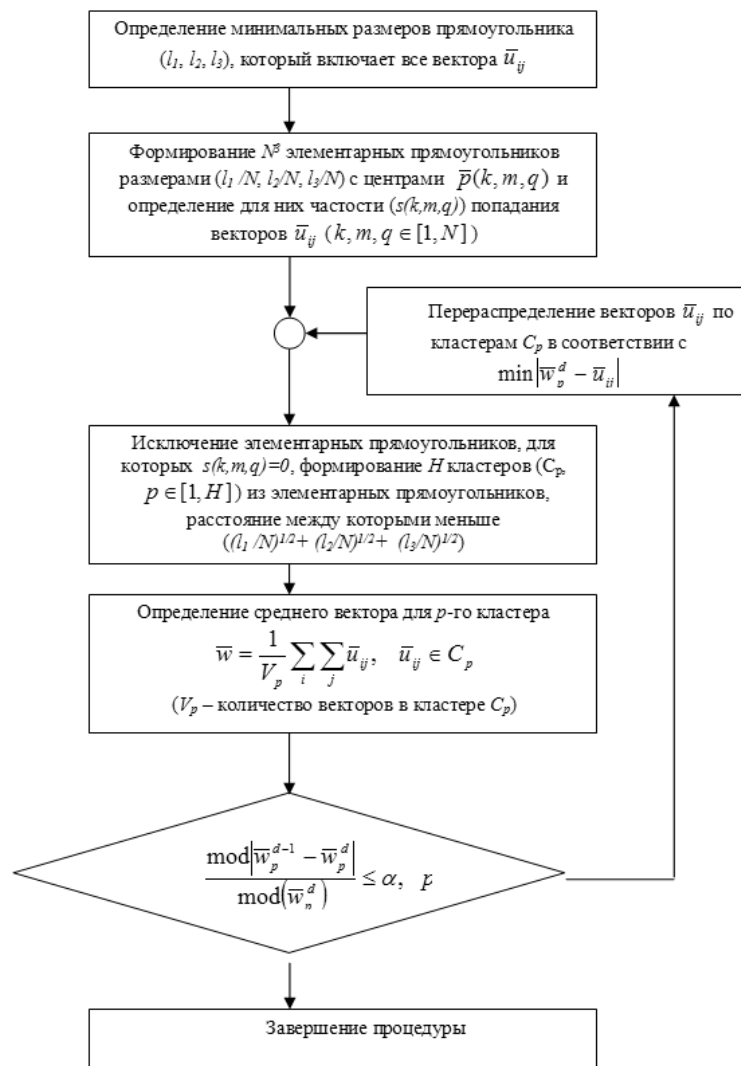


Рис. 1. Процедура кластерного анализа цветного (RGB) изображения

Особенности в изображении выделяются путем нахождения локальных максимумов коэффициентов вейвлет-преобразования. Локальные максимумы коэффициентов вейвлет-преобразования сохраняют свойства резких перепадов и его особенностей. Используя понятия гладкости Липшица, можно показать, что особенности (граница) находятся вдоль линии перепадов локальных максимумов вейвлет-коэффициентов при малых масштабах.

Процедура фрагментации с использованием вейвлет-преобразования цветных изображений состоит из следующих операций:

1. Каждый пиксель исходного изображения представляет собой вектор, компонентами которого являются интенсивности свечения цветов: R – красного, G – зеленого, B – синего. Каждый слой (R, G, B) изображения размера  $(N \times N)$  пикселей раскладывается по вейвлет-базису с применением одномерных формул свертки по следующим формулам:

$$\begin{aligned}
 a_{1,n1} &= \sum_k h_k \cdot a_{0,2n1+k}; & d_{1,n1} &= \sum_k g_k \cdot a_{0,2n1+k}; \\
 a_{1,n2} &= \sum_k h_k \cdot a_{0,2n2+k}; & d_{1,n2}^1 &= \sum_k g_k \cdot a_{0,2n2+k}; \\
 & & d_{1,n2}^2 &= \sum_k h_k \cdot a_{0,2n2+k}; \\
 & & d_{1,n2}^3 &= \sum_k g_k \cdot a_{0,2n2+k},
 \end{aligned}$$

где  $\{h_k\}$  и  $\{g_k\}$  – наборы коэффициентов фильтра точного восстановления. В последовательностях  $\{h_k\}$  и  $\{g_k\}$  лишь конечное число коэффициентов отлично от нуля, т.е. они являются конечной линейной комбинацией функций с компактным носителем.

При этом коэффициенты разложения вычисляются для каждого *элементарного квадрата* размером  $(12 \times 12)$  пикселей.

В качестве промежуточного этапа возможно построение преобразованных с использованием вейвлет-базиса слоев (R, G, B) изображения следующим образом. Белые, серые и черные пиксели преобразованного изображения соответствуют положительным, нулевым и отрицательным коэффициентам разложения соответственно.

2. В каждом элементарном квадрате определяется наибольшие по модулю коэффициенты разложения. Далее, наибольшему коэффициенту присваивается его же знак.
3. Проводится процедура сравнения наибольших коэффициентов разложения в каждом соседнем элементарном квадрате. При выполнении условия изменения знака при переходе от одного элементарного квадрата к другому проставляется та или иная метка.

Отработка и оценка эффективности предлагаемых алгоритмов фрагментации цветных фотоснимков будет проведена в дальнейшем в ходе практических работ по подготовке ЭИ оптическим КЭСН ЛА.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Щербинин В.В.* Этапы и алгоритмы обработки мультиспектральных изображений для распознавания объектов в системах технического зрения // Труды Международных научно-технических конференций «Интеллектуальные системы» (AIS`08) и «Интеллектуальные САПР» (CAD-2008). Научное издание в 3-х томах. – М.: Физматлит, 2008. – Т. 2. – С. 42-47.
2. *Толчельников Ю.С.* Оптические свойства ландшафта. – М.: Наука, 1974. – 251 с.
3. *Кондратьев К.Я., Федченко П.П.* Спектральная отражательная способность и распознавание растительности. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 216 с.
4. *Кринов Е.Л.* Спектральная отражательная способность природных образований. – М.: АН ССР, 1947. – 315 с.

**Щербинин Виктор Викторович**

ФГУП "ЦНИИ АГ".

E-mail: mail\_to\_dv@mail.ru.

127018, г. Москва, ул. Советской Армии, д. 5.

Тел.: 84956006317.

**Scherbinin Victor Victorovich**

"СНИИ АГ".

E-mail: mail\_to\_dv@mail.ru.

5, Sovetskaya Army street, Moscow, 127018, Russia.

Phone: 84956006317.

**Шевцова Екатерина Викторовна**

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (МГТУ им. Баумана).

107005, Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5

E-mail: Catrin\_Victor@mail.ru.

Тел.: 89161755938.

**Shevtsova Ekaterina Victorovna**

Bauman Moscow State Technical University (BMSTU, Bauman MSTU).

2<sup>nd</sup> Baumanskaia str., Moscow, 5107005, Russia.

E-mail: Catrin\_Victor@mail.ru.

Phone: 89161755938.

УДК 681.511

**А.Е. Семенов, Е.В. Крюков, Д.П. Рыкованов, Д.А. Семенов****ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ КОМПЬЮТЕРНОГО  
ЗРЕНИЯ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ РАСПОЗНАВАНИЯ, ВОССТАНОВЛЕНИЯ  
3D, СШИВКИ КАРТ, ТОЧНОГО ЦЕЛЕУКАЗАНИЯ, СЧИСЛЕНИЯ ПУТИ И  
НАВИГАЦИИ**

*В данной статье представлены результаты работ ЗАО "Транзас" в области компьютерного зрения применительно к задачам навигации ЛА и обработки информации, получаемой с ЛА.*

*Искусственный интеллект; компьютерное зрение; распознавание; навигация; восстановление 3D; шивка карт; целеуказание, БПЛА.*

**A.E. Semenov, E.V. Kryukov, D.P. Rykovanov, D.A. Semenov****COMPUTER VISION TECHNIQUES FOR RECOGNITION, 3D EXTRACTION,  
MAP STITCHING, TARGETING AND NAVIGATION**

*Current work represents results achieved by Transas Group in the field of computer vision concerning AV/UAV navigation and UAV data processing.*

*Artificial intelligence; computer vision; recognition; navigation; 3D extraction; map stitching; targeting; UAV.*

**Введение.** Ряд прикладных задач (автоматическая подготовка полетного задания для высокоточного ЛА, точное целеуказание, навигация/ориентация ЛА и т.д.) могут быть решены с использованием технологий компьютерного зрения. Эти технологии имеют ряд существенных преимуществ:

- ◆ пассивность;
- ◆ нечувствительность к стандартным средствам постановки помех;
- ◆ возможность прямого позиционирования изделия относительно цели;
- ◆ возможность практически гарантированной доставки изделия до цели;
- ◆ потенциально низкая стоимость единичного изделия.

В процессе выполнения проекта БПЛА в ЗАО "Транзас" был разработан ряд технологий компьютерного зрения, имеющих практическое значение.