

УДК 621.396.96

В.А. Таршин, А.М. Сотников, Р.Г. Сидоренко, В.В. Мегельбей

Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков

## ПОДГОТОВКА ЭТАЛОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ВЫСОКОТОЧНЫХ КОРРЕЛЯЦИОННО-ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СИСТЕМ НАВИГАЦИИ НА ОСНОВЕ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛЯ ФРАКТАЛЬНЫХ РАЗМЕРНОСТЕЙ

Усовершенствован метод фрактального анализа изображений, который при предварительном устранении избыточной объектовой насыщенности позволяет реализовать заданные требования к оперативной оценке информативности изображений для формирования эталонных изображений. В отличие от известных подходов к устранению избыточной информативности изображений, предложено предварительное окрашивание исходных изображений гауссовским шумом, параметры которого зависят от фоновобъектового состава изображения поверхности визирования. Адекватность метода определяется путем сравнения оценок информативности (селективных изображений), получаемых при оперативной и заблаговременной подготовке эталонных изображений.

**Ключевые слова:** корреляционно-экстремальная система навигации, эталонное изображение, исходное изображение.

### Введение

Общепринятыми этапами планирования применения средств наведения (самонаведения) летательных аппаратов является заблаговременная и непосредственная подготовка. С точки зрения планирования и применения беспилотных летательных аппаратов с высокоточными корреляционно-экстремальными системами навигации (КЭСН), основное время при выполнении подготовительных работ предусматривает формирование полетного задания и подготовку эталонных изображений (ЭИ). В зависимости от времени, выделяемого на подготовку ЭИ, могут различаться методы оценки информативности исходного изображения (ИИ), применяемые для формирования ЭИ.

**Постановка проблемы.** Необходимо выбрать соответствующие описаниям поверхности визирования (ПВ) информационные признаки (ИП), позволяющие разработать метод формирования ЭИ в условиях временных ограничений. Результат подготовки ЭИ должен обеспечивать заданные требования к ЭИ, близкие к результатам корреляционного анализа (КА), т.е. определить новые подходы к описанию ИП и на их основе обеспечить оперативную подготовку ЭИ. Предлагается в качестве ИП использовать поле фрактальных размерностей (ФР), представляющее собой набор в соответствующей системе координат совокупности ФР, которые обеспечивают формирование ЭИ для различных ситуаций в представлениях описания ПВ.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Общие требования к созданию ЭИ для КЭСН приведены в [1], рассмотрены особенности идентификации структурных описаний линейных признаков радиолокационных и оптических изображений, изложены основные положения по созданию унифицированного

эталона. В [2] рассмотрены требования к формированию и представлению ЭИ. Предложено формировать ЭИ на основе цифровых моделей местности (ЦММ). Однако это требует использования средств обработки информации и построения ЦММ с достаточно высокой производительностью. Методы структурного анализа изображений для создания ЭИ [3 – 6] также требуют достаточно больших вычислительных ресурсов, что ограничивает их применение участками, на которых необходимо решение задач поиска и идентификации целей. Таким образом, известные методы подготовки ЭИ требуют значительных вычислительных ресурсов и длительного времени на подготовку.

**Целью статьи** является разработка метода подготовки ЭИ на основе формирования поля фрактальных размерностей, для уменьшения вычислительных затрат в условиях временных ограничений.

### Изложение основного материала

Сущность применения фрактального анализа для изображений раскрыта в работах [7 – 10]. При формировании в качестве ИП поля фрактальной размерности (ПФР) применяется метод покрытия, для которого фрактальная размерность определяется в соответствии с выражением

$$D = [\lg C - \lg N(\varepsilon)] / \lg \varepsilon, \quad (1)$$

где  $C$  – константа,  $\varepsilon$  – шаг измерения или размер «сканирующего» окна,  $N(\varepsilon)$  – минимальное количество кубов со стороной  $\varepsilon$ , для покрытия множества  $S_{\text{ИИ}}$ . Для поиска значений  $\lg C$  и  $D$  выражения (1) используется метод наименьших квадратов, в соответствии с которым необходимо найти уравнения прямой

$$y = \lg C + Dx, \quad (2)$$

наилучшим образом согласующейся с точками, полученными внутри анализируемого («сканирующе-

го») окна, т.е. по имеющемуся набору  $x_i$  и  $y_i$  необходимо определить наилучшие значения  $\lg C$  и  $D$ .

Как показано в [10]  $\lg C$  и  $D$  находятся из решения системы уравнений

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x}) \cdot y_i]}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}; \quad (3)$$

$$\lg C = \bar{y} - D \cdot \bar{x}, \quad (4)$$

где  $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ ,  $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$  – средние значения,  $n$  – количество точек прямой, полученных по методу наименьших квадратов [10].

По результатам вычисления  $D$  по аналогии с полями корреляционного анализа строится ПФР. Принцип выделения информативных областей ИИ при использовании ФА состоит в поиске таких значений ИП, в данном случае ПФА, которые имеют наибольшие отличия от основной части фоновобъектового состава ИИ и удовлетворяют некоторому заданному диапазону ФР  $D_{\min} \leq D \leq D_{\max}$ . Аналогично, как и при решении задачи прямого корреляционного анализа ИИ, необходимо задать размер скользящего (сканирующего [10]) окна.

Локализация информативных областей изображений по ПФР предполагает выделение участков ПФР, удовлетворяющих заданному диапазону ФР  $D_{\min} \leq D \leq D_{\max}$ , на основе анализа гистограммы ПФР [10]. С точки зрения выделения участков ИИ с наибольшими отличиями ИП от общего фоновобъектового состава изображения [10, 11] интерес представляют хвосты гистограммы ПФР. Гистограмма ПФР приведена на рис. 1, а интересующая область гистограммы ПФР обозначена штриховкой.

В работе [11], приведена оценка применимости ПФР для анализа информативности изображений различного фоновобъектового состава и сформулирована проблема, состоящая в чувствительности ПФР к объектовой насыщенности для указанных изображений достаточно сложно выделить информативные области по гистограмме ПФР, как это сделано на рис. 1, из-за сложности выбора границ интервала ФР  $D_{\min}$  и  $D_{\max}$ . Соответствующее селективное изображение представлено на рис. 2.  $D_{\min}$  и  $D_{\max}$  выбираются из по длинному пологому хвосту гистограммы ПФР.  $D_{\max}$  соответствует изменению наклона на гистограмме ПФР. Выделенная белым цветом область на селективном изображении (рис. 2) соответствует сечениям ПКА со значениями 0,7 – 1. Некоторые результаты анализа соответствия селективных изображений, полученных по ПКА и ПФР приведены в работе [11]. При оценке информативности слабоконтрастных ИИ со слабой объектовой насыщенностью целиком оправдано использование широко известных методов ФА изображений,

однако при попытке использования методов ФА для оценки информативности ИИ с достаточной либо избыточной объектовой насыщенностью проявляется свойство высокой чувствительности ПФР и гистограммы ПФР к изменениям  $D_{\min}$  и  $D_{\max}$ .

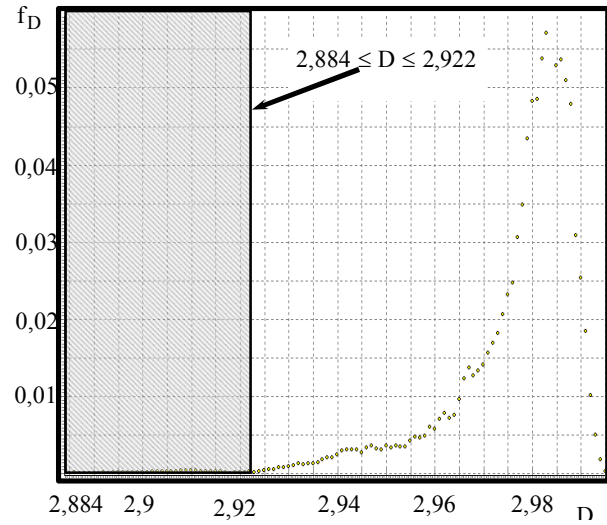


Рис. 1. Гистограмма ПФР изображения со слабой объектовой насыщенностью



Рис. 2. Селективное изображение слабоконтрастного ИИ

Для снижения объектовой избыточности предлагается предварительное окрашивание ИИ гауссовским шумом с известными (заданными) параметрами. Тогда изображение для последующего фрактального анализа формируется как аддитивная смесь исходного изображения  $S_{ИИ}$  с высокой объектовой насыщенностью и матрицы гауссовского шума  $S_1$ :

$$S = S_{ИИ} + S_1, \quad (5)$$

где  $S_1 = \|I(i, j)\|$  – матрица стационарного гауссовского шума размером  $M_1 \times M_2$  с заданными математическим ожиданием  $m_1$  и дисперсией  $\sigma_1^2$ .  $m_1$  определяется как среднее значение диапазона яркостей исходного изображения, а  $\sigma_1^2$  – по форме гистограммы яркостей изображения окрашенного изображения  $S$ . Критерием выбора приемлемого значения  $\sigma_1^2$  является приведение гистограммы яркости к заданному виду при добавлении шума к изображению. Путем

статистического эксперимента определено, что при увеличении  $\sigma_1^2$  происходит трансформация гистограммы яркости изображения  $S$  к виду гистограммы слабоконтрастного изображения со слабой объектовой насыщенностью. Это проявляется в выравнивании яркости объектов близких к фону и подчеркивании (появлении всплесков на гистограмме яркости) объектов, близких к  $f_{\min}$  и  $f_{\max}$ . Количество операций умножения, необходимое для выделения информативных участков изображений методом покрытия, определяется из системы выражений (3), (4) и для скользящего окна размером  $N \times N$  описывается как

$$A_{\text{ФА}} = 2N(M_1 - N)(M_2 - N), \quad (6)$$

где  $N = 2^{(n-1)}$  – размер скользящего окна анализа.

Для ФА объектово насыщенного ИИ и размера скользящего окна  $16 \times 16$  количество необходимых операций умножения составляет  $A_{\text{ФА}} \approx 1,6 \cdot 10^7$ . Выигрыш от использования метода оперативной оценки информативности ИИ без учета операций, выполняемых при окрашивании изображений можно оценить в соответствии с выражением при условии, что размеры скользящего окна при использовании обоих методов одинаковы

$$\frac{A_{\text{КА}}}{A_{\text{ФА}}} = \frac{N^2 M_1 M_2 (M_1 - N)(M_2 - N)}{2N(M_1 - N)(M_2 - N)} = \frac{1}{2} N M_1 M_2. \quad (7)$$

Выигрыш с точностью до коэффициента 0.5 определяется линейными размерами исходного изображения и размером скользящего окна. Исходя из этого, при малых размерах ИИ выигрыш метода фрактальной оценки информативности ИИ по сравнению с методом прямого корреляционного анализа может быть незначительным, однако при временных ограничениях на выполнение задачи синтеза ЭИ и больших размерах ИИ метод оперативной оценки информативности ИИ является более предпочтительным.

## Выводы

Таким образом, получил дальнейшее развитие метод подготовки ЭИ, который в отличие от извест-

ных, позволяет на основе методики формирования ПФР, подготовить ЭИ для различных описаний ПВ, учитывающих различия в объектовой насыщенности изображений ПВ. В сравнении с известными методами подготовки ЭИ разработанный метод оперативной подготовки ЭИ требует меньших вычислительных затрат, а следовательно обладает большим быстродействием.

## Список литературы

1. Баклицкий В.К. Корреляционно-экстремальные методы навигации и наведения / В.К. Баклицкий. – Тверь: Книжный клуб, 2009. – 360 с.
2. Современные информационные технологии в задачах навигации и наведения беспилотных летательных аппаратов / К.К. Веремеенко, С.Ю. Желтов, Н.В. Ким и др. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 556 с.
3. Пытьев Ю.П. Морфологические методы анализа изображений / Ю.П. Пытьев, А.И. Чуличков. – М.: Физматлит, 2010. – 336 с.
4. Serra J. Image Analysis and Mathematical Morphology / J. Serra. – L.: Academic Press, 1982. – 621 p.
5. Serra J. Introduction to mathematical morphology / J. Serra // Computer Vision, Graphics and Image Processing. – 1986. – V. 35, no. 3. – P. 283-305.
6. Обработка и анализ изображений в задачах машинного зрения / Ю.В. Визильтер, С.Ю. Желтов, А.В. Бондаренко и др. – М.: Физматкнига, 2010. – 672 с.
7. Морозов А.Д. Введение в теорию фракталов / А.Д. Морозов. – Москва-Ижевск: ИКИ, 2002. – 160 с.
8. Федер Е. Фракталы / Е. Федер. – М.: Мир, 1991. – 254 с.
9. Новейшие методы обработки изображений / под ред. А.А. Потапова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 496 с.
10. Фрактальный анализ процессов, структур и сигналов: коллективная монография; под ред. Р.Э. Пащенко. – Х.: ХОО «НЭО «Экоперспектива», 2006. – 348 с.
11. Таршин В.А. Обоснование применения методов фрактального анализа для оперативной подготовки эталонных изображений / В.А. Таршин, А.М. Сотников, Р.Э. Пащенко // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2014. – №1 (117). – С. 62-66.

Поступила в редколлегию 16.04.2015

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О.И. Сухаревский, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

## ПІДГОТОВКА ЕТАЛОННИХ ЗОБРАЖЕНЬ ДЛЯ ВИСОКОТОЧНИХ КОРЕЛЯЦІЙНО-ЕКСТРЕМАЛЬНИХ СИСТЕМ НАВІГАЦІЇ НА ОСНОВІ ФОРМУВАННЯ ПОЛЯ ФРАКТАЛЬНИХ РОЗМІРНОСТЕЙ

В.А. Таршин, О.М. Сотников, Р.Г. Сидоренко, В.В. Мегельбей

Вдосконалений метод фрактального аналізу зображень, який при попередньому усуненні надлишкової об'єктової насиченості дозволяє реалізувати задані вимоги до оперативної оцінки інформативності зображень для формування еталонних зображень. На відміну від відомих підходів до усунення надлишкової інформативності зображень, запропоновано попереднє фарбування вихідних зображень гаусівським шумом, параметри якого залежать від фоновоб'єктового складу зображення поверхні візування. Адекватність методу визначається шляхом порівняння оцінок інформативності (селективних зображень), отримуваних при оперативній і завчасній підготовці еталонних зображень.

**Ключові слова:** кореляційно-екстремальна система наведення, еталонне зображення, вихідне зображення.

## PREPARATION OF REFERENCE PATTERNS FOR HIGH-FIDELITY CORRELATION-EXTREME NAVIGATION SYSTEMS ON BASIS OF FORMING OF PAUL FRACTAL DIMENSIONS

V.A. Tarshyn, A.M. Sotnikov, R.G. Sydorenko, V.V. Megelbey

The method of fractal analysis of images, which at the preliminary removal of surplus objective saturation allows to realize the set requirements to the operative estimation of informing of images for a standard picture generation, is improved. Unlike the known going near the removal of the surplus informing of images, the preliminary painting of initial images is offered Gauss noise the parameters of which depend on base-line-objective composition of image of surface of bore sighting. Adequacy of method is determined by comparison of estimations of informing (selective images), reference patterns got at operative and done early preparation.

**Keywords:** correlation-extreme navigation system, reference image, initial image.