

УДК 621.396.96

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

Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков

МЕТОДИКА ВЫБОРА ИСХОДНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ЭТАЛОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ КОРРЕЛЯЦИОННО-ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СИСТЕМ НАВИГАЦИИ

Разработана методика выбора исходного изображения по максимуму обобщенного показателя качества при подготовке эталонных изображений для корреляционно-экстремальных систем навигации. На ее основе оценена устойчивость изображений районов привязки к воздействию искажающих факторов по совокупности изображений с достаточной объектовой насыщенностью.

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

Введение

Общепринятыми этапами планирования применения средств вооружения и военной техники являются заблаговременная и непосредственная подготовка. С точки зрения планирования и применения летательных аппаратов (ЛА) с корреляционно-экстремальными системами навигации (КЭСН), основное время при выполнении подготовительных работ предусматривает формирование полетного задания и подготовку эталонного изображения (ЭИ). Реализация требований высокой точности определения местоположения ЛА с КЭСН однозначно связана с качеством и параметрами используемых ЭИ.

С формальной точки зрения выделение информативных участков и формирование ЭИ может быть произведено для всей присутствующей в базе данных совокупности изображений района привязки поверхности визирования (ПВ) с использованием методов, предусматривающих вычисление поля корреляционного анализа (ПКА) [1] и поля фрактальной размерности (ПФР) [2]. Однако такой подход, с одной стороны, требует достаточно больших вычислительных ресурсов, с другой стороны, не дает прямого сравнительного анализа изображений, полученных при различных условиях наблюдения и воздействия искажающих факторов.

Наиболее рациональным является подход, предусматривающий выделение одного исходного изображения (ИИ) из имеющейся совокупности изображений путем их взаимного сравнительного анализа. Для проведения попарного сравнительного анализа изображений может быть использован обобщенный показатель качества (ОПК) [3].

Постановка проблемы. База данных изображений района привязки в одном спектральном диапазоне описывается совокупностью изображений, полученной от космических (аэродинамических) средств разведки, привязанных к цифровым моде-

лям местности (ЦММ) с заданной точностью, превышающей требуемую точность привязки текущих изображений (ТИ) к ЭИ КЭСН. Рассматриваемые изображения приведены к одному размеру и формату представления.

Необходимо на основе анализа взаимного изменения характеристик изображений фоново-целевой обстановки выбрать одно, которое будет использовано в качестве исходного изображения при оценке информативности ПВ.

Анализ последних достижений и публикаций. В работе [1] на основе ПКА, и современных подходов к построению и функционированию КЭСН, получению эталонной информации предлагаются новые принципы формирования ЭИ и оценки информативности ИИ, позволяющие определять информативные области исходных изображений для обеспечения высокой точности определения местоположения ЛА.

В работах [2–4] усовершенствован метод фрактального анализа изображений, который при предварительном устранении избыточной объектовой насыщенности позволяет реализовать заданные требования к оперативной оценке информативности изображений для формирования ЭИ.

В работе [5] предложены принципы использования ОПК для описания фоново-объектового состава ПВ позволяющие осуществить разграничения в описании изменений ПВ и обосновать выбор соответствующих алгоритмов синтеза ЭИ и адаптивной обработки ТИ.

В работе [6] введено понятие обобщенного показателя качества изображений, однако прямое его применение для выбора ИИ не представляется возможным.

Целью статьи является разработка методики оценки выбора ИИ при подготовке ЭИ по максимуму обобщенного показателя качества из совокупности изображений с достаточной объектовой насыщенностью.

Изложение основного материала

1. Методика выбора ИИ по максимуму ОПК

Наиболее удобным для оценки взаимных локальных изменений изображений района привязки КЭСН является использование ОПК изображений [5]. Такой показатель позволяет выделять взаимное несоответствие яркости, контраста и структуры двух сравниваемых изображений, однако, при решении задачи выбора ИИ из совокупности имеющихся необходимо каждому из них поставить в соответствие некую числовую характеристику, которая и определит последующий выбор.

Для определенности рассмотрим случай, когда база данных района привязки состоит из четырех изображений оптического диапазона, полученных при различных условиях наблюдения и составе воздействующих на ПВ искажающих факторов, привязанных к ЦММ с заданной точностью.

Пример таких изображений, отличающихся в соответствии с возможными изменениями ПВ, приведен на рис. 1, 2.

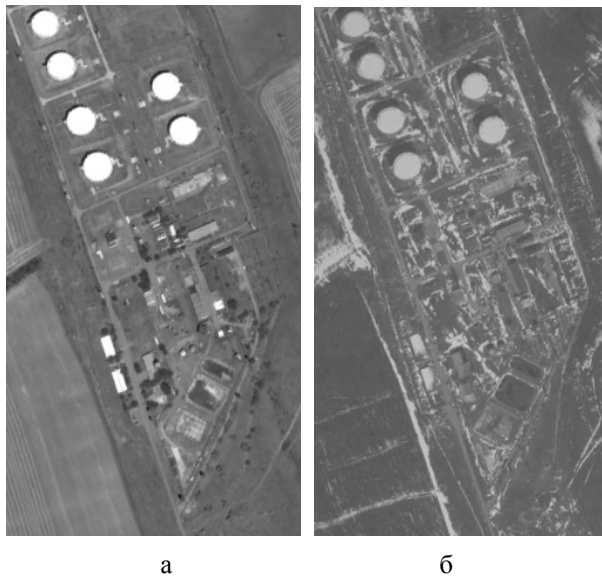


Рис. 1. Изображения ПВ при отсутствии искажений (а) и при локальных сезонных изменениях (б) из Google Earth

Согласно [6] ОПК, вычисляемый для пары изображений с номерами s и d в принятой совокупности, представляет собой матрицу

$$\mathbf{R}_{\text{ОПК}}^{\text{sd}} = \left\| \mathbf{R}_{\text{ОПК}}^{\text{sd}}(i, j) \right\|, \quad (1)$$

размера $(M_1 - L) \times (M_2 - L)$, где $M_1 \times M_2$ – размеры анализируемых изображений.

Для числовой характеристикой взаимной схожести пары изображений по яркости, контрасту и структуре введем средний ОПК ($\bar{R}_{\text{ОПК}}^{\text{sd}}$), получаемый в соответствии с выражением



Рис. 2. Изображения ПВ при различном положении источника внешнего освещения

$$\bar{R}_{\text{ОПК}}^{\text{sd}} = \frac{1}{(M_1 - L)(M_2 - L)} \times \sum_{i=1}^{M_1-L} \sum_{j=1}^{M_2-L} R_{\text{ОПК}}^{\text{sd}}(i, j), \quad (2)$$

где $s = 1 \dots S$, $d = 1 \dots S$.

Средний обобщенный показатель качества является показателем схожести двух изображений при отсутствии априорной информации об используемом в корреляционно-экстремальной системе навигации информативном поле (ИП).

В случае, когда ИП определено заранее, то для характеристики взаимного сходства изображений может использоваться одна из составляющих обобщенного показателя качества, определяемых выражениями

$$\bar{H}^{\text{sd}} = \frac{1}{(M_1 - L)(M_2 - L)} \times \sum_{i=1}^{M_1-L} \sum_{j=1}^{M_2-L} H^{\text{sd}}(i, j); \quad (3)$$

$$\bar{C}^{\text{sd}} = \frac{1}{(M_1 - L)(M_2 - L)} \times \sum_{i=1}^{M_1-L} \sum_{j=1}^{M_2-L} C^{\text{sd}}(i, j); \quad (4)$$

$$\bar{S}^{\text{sd}} = \frac{1}{(M_1 - L)(M_2 - L)} \times \sum_{i=1}^{M_1-L} \sum_{j=1}^{M_2-L} S^{\text{sd}}(i, j); \quad (5)$$

Для случая, когда $S = 4$ результат попарного сравнения изображений с использованием $\bar{R}_{\text{ОПК}}^{\text{sd}}$ может быть представлен в виде матрицы

$$\bar{\mathbf{R}}_{\text{ОПК}} = \begin{pmatrix} \bar{R}_{\text{ОПК}}^{11} & \bar{R}_{\text{ОПК}}^{12} & \bar{R}_{\text{ОПК}}^{13} & \bar{R}_{\text{ОПК}}^{14} \\ \bar{R}_{\text{ОПК}}^{21} & \bar{R}_{\text{ОПК}}^{22} & \bar{R}_{\text{ОПК}}^{23} & \bar{R}_{\text{ОПК}}^{24} \\ \bar{R}_{\text{ОПК}}^{31} & \bar{R}_{\text{ОПК}}^{32} & \bar{R}_{\text{ОПК}}^{33} & \bar{R}_{\text{ОПК}}^{34} \\ \bar{R}_{\text{ОПК}}^{41} & \bar{R}_{\text{ОПК}}^{42} & \bar{R}_{\text{ОПК}}^{43} & \bar{R}_{\text{ОПК}}^{44} \end{pmatrix}. \quad (6)$$

Поскольку в (6) элементы с $s = d$ представляют собой результат сравнения изображений самих с собой ($\bar{R}_{\text{ОПК}}^{11} = \bar{R}_{\text{ОПК}}^{22} = \bar{R}_{\text{ОПК}}^{33} = \bar{R}_{\text{ОПК}}^{44} = 1$), а элементы, симметричные относительно главной диагонали таблицы равны ($\bar{R}_{\text{ОПК}}^{sd} = \bar{R}_{\text{ОПК}}^{ds}$), то выражение (6) преобразуется к виду

$$\bar{\mathbf{R}}_{\text{ОПК}} = \begin{pmatrix} 1 & \bar{R}_{\text{ОПК}}^{21} & \bar{R}_{\text{ОПК}}^{31} & \bar{R}_{\text{ОПК}}^{41} \\ \bar{R}_{\text{ОПК}}^{21} & 1 & \bar{R}_{\text{ОПК}}^{32} & \bar{R}_{\text{ОПК}}^{42} \\ \bar{R}_{\text{ОПК}}^{31} & \bar{R}_{\text{ОПК}}^{32} & 1 & \bar{R}_{\text{ОПК}}^{43} \\ \bar{R}_{\text{ОПК}}^{41} & \bar{R}_{\text{ОПК}}^{42} & \bar{R}_{\text{ОПК}}^{43} & 1 \end{pmatrix}. \quad (7)$$

Как видно из выражения (7), результат попарного сравнения четырех изображений состоит в вычислении $\frac{S(S-1)}{2}$ средних ОПК.

Если предположить, что в качестве информативного поля выбирается изображение для которого обеспечиваются максимальные средние ОПК попарного сравнения, то такой показатель для каждого изображения может быть получен как произведение ОПК, находящихся в одной строке (столбце) матрицы (7).

Решающее правило для выбора информативного поля, в этом случае, может быть записано в виде

$$\hat{s}_{\text{ИИ}} = \arg \max \bar{R}_{\text{ОПК}}^s, \quad (8)$$

где $\hat{s}_{\text{ИИ}}$ – оценка номера изображения с максимальным $\bar{R}_{\text{ОПК}}^s$,

$$\bar{R}_{\text{ОПК}}^s = \prod_{d=1}^S \bar{R}_{\text{ОПК}}^{sd}. \quad (9)$$

Для комбинированных КЭСН, осуществляющих совместную обработку ТИ от датчиков различной физической природы, может возникать необходимость выбора ИИ, на основе которого будет формироваться универсальное ЭИ (УЭИ).

Кроме этого, для разносектральных изображений района привязки ПВ может быть характерен достаточно резкий перепад яркости и контраста, а также инверсия контрастов.

В этом случае наибольшей информативностью обладает параметр, характеризующий сходство структуры анализируемых изображений в соответствии с выражение (5).

Для такого случая решающее правило выбора ИИ из совокупности разносектральных снимков района привязки определяется выражением

$$\hat{s}_{\text{ИИ}} = \arg \max \bar{S}^s, \quad (10)$$

где
$$\bar{S}^s = \prod_{d=1}^S \bar{S}^{sd}. \quad (11)$$

По аналогии с (8), путем выбора минимального $\bar{R}_{\text{ОПК}}^s$ из полученной совокупности, могут быть определены изображения, которые наиболее сильно подвержены искажениям по отношению к ИИ и подлежащие отбраковке (ОИ). Выбор таких изображений производится в соответствии с правилом решающим правилом:

$$\hat{s}_{\text{ОИ}} = \arg \min \bar{R}_{\text{ОПК}}^s, \quad (12)$$

при анализе односектральных изображений и

$$\hat{s}_{\text{ОИ}} = \arg \min \bar{S}^s, \quad (13)$$

при рассмотрении разносектральных изображений.

В то же время ОИ определенным образом характеризуют случай наблюдения ПВ с максимальными искажениями для существующей совокупности изображений.

2. Пример выбора ИИ по максимуму среднего ОПК

Выбор ИИ осуществляется по характерной району привязки КЭСН совокупности из четырех оптических изображений, полученных при различных условиях наблюдений и различной степени искаженности.

Примеры таких изображений представлены на рис. 1 и рис. 2.

Решение задачи выбора ИИ проводится по решающим правилам (8) и (10), нумерация изображений берется по порядку их упоминания на рис. 1(1 и 2 изображения) и рис. 2 (3 и 4 изображения).

Согласно выражению (7) для рассматриваемых изображений при размере скользящего окна $L = 16$ можно записать

$$\bar{\mathbf{R}}_{\text{ОПК}} = \begin{pmatrix} 1 & 0.1558 & 0.6194 & 0.3873 \\ 0.1558 & 1 & 0.1529 & 0.1791 \\ 0.6194 & 0.1529 & 1 & 0.4006 \\ 0.3873 & 0.1791 & 0.4006 & 1 \end{pmatrix}. \quad (14)$$

При таких же исходных данных по выражению (5) может быть рассчитана матрица, характеризующая структурное подобие всех четырех изображений, которое представляется в виде матрицы

$$\bar{\mathbf{S}} = \begin{pmatrix} 1 & 0.2866 & 0.6875 & 0.4939 \\ 0.2866 & 1 & 0.3660 & 0.2959 \\ 0.6875 & 0.3660 & 1 & 0.5792 \\ 0.4939 & 0.2959 & 0.5792 & 1 \end{pmatrix}. \quad (15)$$

В результате вычисления $\bar{R}_{\text{ОПК}}^s$ и \bar{S}^s согласно (9) и (11) получаем, соответственно:

$$\begin{pmatrix} \bar{R}_{\text{ОПК}}^1 \\ \bar{R}_{\text{ОПК}}^2 \\ \bar{R}_{\text{ОПК}}^3 \\ \bar{R}_{\text{ОПК}}^4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.0374 \\ 0.0042 \\ 0.0379 \\ 0.0278 \end{pmatrix}, \quad \begin{pmatrix} \bar{S}^1 \\ \bar{S}^2 \\ \bar{S}^3 \\ \bar{S}^4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.0973 \\ 0.0310 \\ 0.1457 \\ 0.0846 \end{pmatrix}. \quad (16)$$

В соответствии с полученными численными значениями $\bar{R}_{\text{ОПК}}^s$ и \bar{S}^s (16) в качестве ИИ должно быть выбрано изображение, приведенное на рис. 2,а, в то же время, наименее пригодным, согласно (12), (13), для использования в качестве ИИ является изображение, приведенное на рис. 1, б.

Аналогичные результаты, подтверждающие правильность разработанного подхода к выбору ИИ получены для серий односпектральных и разнеспектральных изображений, а также серии оптических изображений, с различной степенью искажений и радиолокационного изображения.

Выводы

Разработанная методика выбора исходных изображений по максимуму обобщенного показателя качества из имеющейся совокупности изображений позволяет определять изображения наименее подверженные искажениям, которые могут быть использованы в качестве исходных для последующего формирования ЭИ.

Методика может быть использована при формировании универсальных ЭИ для комбинированных КЭСН по совокупности разнеспектральных изображений. В этом случае предпочтительным является параметр, характеризующий устойчивость структуры изображений.

Применение разработанной методики позволяет определять изображения с наибольшими искажениями, что может быть полезным при оценке качества изображений, составляющих базу данных изображений районов привязки.

Приведенный пример выбора ИИ по максимуму ОПК из совокупности изображений с достаточной объектовой насыщенностью подтверждает правильность разработанного подхода к выбору исходного изображения.

Список литературы

1. Таршин В.А. Подготовка эталонных изображений для высокоточных корреляционно-экстремальных систем навигации на основе использования прямого корреляционного анализа / В.А. Таршин, А.М. Сотников, Р.Г. Сидоренко // Наука і техніка ПС ЗСУ. – 2015. – №2 (19). – С. 69-73.
2. Таршин В.А. Подготовка эталонных изображений для высокоточных корреляционно-экстремальных систем навигации на основе формирования поля фрактальных размерностей / В.А. Таршин, А.М. Сотников, Р.Г. Сидоренко, В.В. Мегельбей // Системи озброєння і військова техніка. – 2015. – №2 (42). – С. 142-144.
3. 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. – 2014. – №1 (117). – С. 62-66.
4. Таршин В.А. Метод оперативной подготовки эталонных изображений на основе фрактальной обработки изображений с высокой объектовой насыщенностью / В.А. Таршин, А.М. Сотников, Р.Э. Пащенко // Техническое зрение. – М., 2014. – Вып. 1 (5). – С. 2-8.
5. Таршин В.А. Принципы описания фоново-объектовой обстановки для корреляционно-экстремальных систем навигации / В.А. Таршин, А.М. Сотников // Техническое зрение в системах управления: материалы шестой науч.-техн. конф., Москва 17-19 марта 2015 г. – С. 75-76.
6. Wang Z. Why is image quality assessment so difficult / Z. Wang, A.C. Bovik, L. Lu. // Proc. IEEE Int. Conf. Acoustics, Speech, and Signal Processing. – 2002. – V. 4. – P. 3313-3316.

Поступила в редколлегию 15.07.2015

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

МЕТОДИКА ВИБОРУ ВИХІДНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ПРИ ПІДГОТОВЦІ ЕТАЛОННИХ ЗОБРАЖЕНЬ ДЛЯ КОРЕЛЯЦІЙНО-ЕКСТРЕМАЛЬНИХ СИСТЕМ НАВІГАЦІЇ

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

Розроблена методика вибору вихідного зображення по максимуму узагальненого показника якості при підготовці еталонних зображень для кореляційно-екстремальних систем навігації. На її основі оцінена стійкість зображень районів прив'язки поверхонь візування до дії спотворюючих чинників. Розглянутий приклад вибору вихідного зображення по максимуму узагальненого показника якості з сукупності зображень з достатньою об'єктовою насиченістю.

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

METHOD CHOICE INITIAL IMAGES AT PREPARATION OF REFERENCE PATTERNS FOR CROSS-CORRELATION-EXTREME SYSTEMS OF NAVIGATION

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

The method of choice of initial image is developed on a maximum of the generalized index quality at preparation reference image for the cross-correlation-extreme systems of navigation. On its basis stability images districts of attachment surfaces of boresighting to influence of distorting factors is appraised. The example of choice initial image is considered on a maximum the generalized index of quality from the aggregate of images with a sufficient objective saturation.

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