УДК 629.783

МНОГОСПЕКТРАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ВИДЕОИНФОРМАЦИИ В ЗАДАЧАХ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА МАЛОЗАМЕТНЫХ ОБЪЕКТОВ МЕСТНОСТИ

В.В. Василевский¹, А.С. Жебель²

1 ФГОУ ВО МАИ (НИУ), 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, 4

2 АО «НПП «Пульсар», 105187, г. Москва, Окружной пр., 27

*Исследуется проблема повышения эффективности аэрокосмического мониторинга при выявлении мало-
заметных объектов земной поверхности. Предложен подход к решению задачи на основе многоспектраль-
ной обработки видеоинформации, обеспечивающий повышение надежности и оперативности поиска, об-
наружения и интерпретации объектов. Приведено описание вычислительного алгоритма и программной
реализации процедур обработки многоспектральных изображений и синтеза единого изображения.*

Ключевые слова: аэрокосмический комплекс мониторинга, алгоритм обработки видеоинформации, спек-
тральные изображения, синтез единого изображения.

Сведения об авторах: Василевский Валерий Владимирович, к.в.н., доцент, echinops777@rambler.ru;
Жебель Александр Сергеевич, аспирант, zhebel@pulsarnpp.ru.

.....

MULTISPECTRAL PROCESSING OF VIDEO-DATA FOR AEROSPACE MONITORING OF LOW-OBSERVABLE OBJECTS

V.V. Vasilevskiy¹, A.S. Zhebel²

1 Moscow Aviation Institute (National Research University), 125993, Moscow, Volokolamskoye highway, 4

2 S&PE Pulsar JSC, 105187, Moscow, Okruzhnoy pr., 27

*This paper is dedicated to the task of improving the aerospace monitoring in detecting low-observable objects on the
Earth's surface. The approach to this task is proposed on the basis of multispectral video-data processing, which provides
increased reliability and speed of search, detection and interpretation of objects. Description of computational algorithm
and software implementation of the procedures for multispectral images processing and single image synthesis is given.*

Keywords: aerospace monitoring complex, video-data processing algorithm, spectral images, single image
synthesis

Authors: Vasilevsky Valeriy Vladimirovich, Ph.D., Associate Professor, echinops777@rambler.ru; Zhebel Aleksandr
Sergeevich, post-graduate, zhebel@pulsarnpp.ru

Введение

Одной из проблем применения аэро-
космических комплексов дистанционно-
го зондирования Земли (ДЗЗ) в условиях
априорной неопределенности статистиче-
ских характеристик фонообъектовой об-
становки, является повышение надежности
обнаружения и распознавания площадных
и одиночных объектов. Один из подходов к
ее решению, связан с реализацией техно-
логии комплексной обработки спектрозо-
нальных изображений, получаемых с ис-
пользованием фотоприемных устройств
(ФПУ) соответствующего спектрального
диапазона [1].

Постановка задачи

Остановимся на задаче выполнения пред-
варительной обработки получаемой многозо-
нальной видеоинформации при аэрокосмиче-
ском мониторинге малоаметных одиночных
объектов. При этом к классу одиночных ма-
лоаметных объектов местности здесь будем
относить объекты, вектор состояния и геоме-
трические параметры которых являются слу-
чайной функцией момента времени аэрокос-
мического мониторинга [2].

Повышение заметности малоразмерных,
слабоконтрастных объектов и фонов на ос-
нове выделения их яркостных и цветовых
различий на спектрозональных изображени-

ях (СИ) $\{x^{(1)}\}$, $\{x^{(2)}\}$ и синтеза единого изображения (ЕИ) $\{y\}$ иллюстрируется на рис.1а, где $M_{об}$, $M_{ф}$ – векторы средних яркостей объекта и фона; $M_{об(ф)} = (m_{об(ф)}^{(1)}, m_{об(ф)}^{(2)})$; $\Omega_{ф}$, $\omega_{ф}^{(1)}$, $\omega_{ф}^{(2)}$, $\omega_{ф}^{(e)}$ – области сосредоточения яркостей фона на многозональном изображении (МИ), первом и втором СИ и ЕИ, соответственно; $\mu_{об(ф)}$ – средняя яркость объекта (фона) на ЕИ; (i, j) – координаты пикселей. Сужение области $\Omega_{ф}$ при увеличении корреляции зональных яркостей фона сопровождается удалением $\mu_{об(ф)}$ от $\omega_{ф}^{(e)}$.

Известен интерактивный метод комплексирования СИ и синтеза ЕИ, при котором параметры обработки настраиваются оператором на основе накопления измерительной информации [3].

Однако во многих задачах аэрокосмического мониторинга использование данного подхода связано с обеспечением настроек соответствующих параметров при потоковой обработке кадров в режиме реального времени. По этой причине предпочтительным является использование способа автоматической обработки многоспектральной видеoinформации с использованием бортового специального вычислителя.

Математическая модель и алгоритм комплексирования СИ

В линейной процедуре [4] синтеза ЕИ используем соотношение:

$$Y_{ij} = A_{\xi 1} \sum A_{mn} X_{i-m, j-n} + A_{\xi 2}, \quad (m, n) \in R, \quad (1)$$

где A_{mn} – матричная функция дискретных аргументов m, n размерности $(n_y \times n_x)$, определенная в области $(m, n) \in R$;

$A_{\xi 1} = \text{diag}(a^{(1)} \xi 1, \dots, a^{(nY)} \xi 1)$ – нормирующая диагональная матрица;

$A_{\xi 2} = (a^{(1)} \xi 2, \dots, a^{(nY)} \xi 2)^T$ – нормирующий вектор.

Используем подход, предусматривающий оценивание яркостного признака $\pi \equiv Y$ селективности объектов и степени яркостного различия объектов и фона. Положительный эффект яркостного подхода обусловлен различиями во взаимной зависимости (корреляции) флуктуаций яркости текстуры (фона) между каналами съемки, с одной стороны, и между флуктуациями яркости, связанными с наличием объекта – с другой.

При **известном** векторе математических ожиданий яркости объекта $M_{Xоб}$ и фона $M_{Xф}$ на МИ в качестве меры J статистической разделимости объектов и фонов на синтези-

рованном ЕИ может быть использовано нормализованное расстояние между векторами математических ожиданий яркостей объекта и фона, определяемое следующим образом:

$$J = J_{EI} = (M_{Yоб} - M_{Yф})^T r^{-1}_{Yф} (M_{Yоб} - M_{Yф}) \quad (2)$$

где $M_{Yоб}$, $M_{Yф}$ – математические ожидания яркости объекта и фона на ЕИ; $r^{-1}_{Yф}$ – дисперсионная матрица фона на ЕИ.

В случае поточечного синтеза единого черно-белого изображения, мера J становится максимальной при выполнении условия:

$$A = r^{-1}_{Xф} (M_{Xоб} - M_{Xф}) \quad (3)$$

где $r^{-1}_{Xф}$ – дисперсионная матрица фона на СИ.

Соответственно, алгоритм синтеза ЕИ имеет вид:

$$Y_{ij} = A_{\xi 1} r^{-1}_{Xф} (M_{Xоб} - M_{Xф}) X_{ij} + A_{\xi 2} \quad (4)$$

При **неизвестном** векторе математических ожиданий яркости объектов $M_{Xоб}$, различных значениях их спектральной сигнатуры в процессе синтеза ЕИ целесообразно максимизировать математическое ожидание меры J .

Задача сводится к определению собственных чисел λ_k и собственных векторов A_k матрицы $r_{Xф}$.

В обоих вариантах наличия статистических оценок яркости объектов и фонов скаляры $A_{\xi 1}$ и $A_{\xi 2}$ определяются из условия оптимального использования располагаемого динамического диапазона представления яркостей $Y^{(i)}$ и ограниченного количества уровней квантования видеосигнала.

Таким образом, рассмотрение объектов как локальных аномальных образований местности, обладающих выраженным нарушением отражательных (излучательных) свойств, позволяет использовать адаптивные алгоритмы в условиях полного отсутствия сведений о спектральных сигнатурах объектов на основе текущих оценок локальных параметров яркости фона. Для сокращения количества вычислений целесообразно использовать рекуррентную процедуру получения оценок $M_{Xф}$ и $r_{Xф}$ [4].

Влияние коэффициента взаимной корреляции ρ яркостей фона двух СИ на эффективность их комплексирования показано на рис.1б, где $g = \sqrt{J_1/J_2}$ при $J_2 \geq J_1$; $g = \sqrt{J_2/J_1}$, при $J_1 \geq J_2$. Как видно, при синтезе ЕИ эффект комплексирования СИ, проявляемый в статистической разделимости объект/фон и оцениваемый функционалом $q = \sqrt{\frac{J_{EI}}{\max(J_1, J_2)}}$ тем больше, чем больше модуль коэффициента корреляции $|\rho|$ яркости фона МИ.

Геометрическая иллюстрация синтеза ЕИ из двух СИ – а; оценка влияния взаимной корреляции яркостей фона двух СИ на эффективность их комплексирования – б

Значительных по величине коэффициентов корреляции яркости фона СИ можно ожидать в случае сходной геометрии текстур и примерно одинаковой детальности СИ, что обеспечивается в диапазонах спектра оптического излучения.

Процедура синтеза полутонного ЕИ теоретически позволяет обеспечить для него статистическую разделимость объектов и фонов, существующую в отдельных СИ. Так, при типичных значениях корреляции яркости фона СИ для диапазонов отражательной области оптического спектра и использовании двух кадров СИ возможно существенное – в 2...3 раза увеличение выигрыша q в заметности объектов (отношении сигнал/шум) на ЕИ. Вместе с тем, необходимо отметить некоторое снижение эффекта многозональной обработки, которое обусловлено декоррелирующим влиянием шумов приемников регистрации излучения,

неточностью взаимной геопривязки кадров СИ; неоднородностью распределения яркости земной поверхности.

Выполненные теоретические и экспериментальные исследования на основе реальных изображений показывают потенциальную возможность существенного повышения заметности и вероятности до уровня 0,5...0,9 автоматического обнаружения малоразмерных объектов на ЕИ при фиксированной вероятности «ложной тревоги», увеличения в 10...100 раз производительности информационной системы при поиске и интерпретации объектов мониторинга.

Иллюстрация применимости метода многоспектральной обработки видеoinформации показана на рис. 2, на котором представлены результаты синтеза ЕИ участка дороги с выявленными пятнами нефтепродуктов, полученного на основе двух СИ в диапазонах оптического спектра излучений.

Синтез ЕИ участка дороги в задаче аэрокосмического мониторинга и обнаружения пятен нефтепродуктов – а и прототип интерфейса программного модуля, реализующего процедуру – б.

Компоненты интерфейса программного модуля автоматического синтеза ЕИ обеспечивают возможности выбора и выполнения следующих настроек: 1) вид синтеза ЕИ – с известным средним значением яркости объекта; с оценкой яркости объекта; методом главных компонент; 2) условия синтеза ЕИ – выравнивать яркость по кадру; включать область объекта в оценку параметров распределения яркости кадра; 3) адаптивный режим перенастройки параметров алгоритма; 4) количество используемых СИ (1...6).

Заключение

В работе предложено решение задачи автоматизации аэрокосмического мониторинга малозаметных объектов земной поверхности на основе многоспектральной обработки видеоинформации, реализуемой бортовым вычислительным устройством.

Выполненные исследования эффективности алгоритмов многозональной обработки изображений показывают следующие возможности повышения эффективности аэрокосмического мониторинга малозаметных объектов:

- обеспечения вероятности автоматического обнаружения объектов до уровня 0,5...0,95 при фиксированном значении вероятности «ложной тревоги» 0,0...0,2;
- сокращения времени поиска и локализации объекта в 10...50 раз;
- существенного увеличения пропускной способности автоматизированной системы поиска и идентификации объектов.

Литература

1. Василевский В.В. Метод оценивания состояния неопределенно-стохастических динамических систем на основе аэрокосмического мониторинга // Актуальные вопросы проектирования

космических систем и комплексов: Сборник научных трудов. Выпуск 6. Под ред. Г.М. Полищука, К.М. Пичхадзе. – М.: Блок-Информ-Экспресс, 2015. – С. 22-24

2. Василевский В.В., Михоленок А.Н., Жебель А.С. Высокопроизводительный алгоритм предварительной цифровой обработки видеоинформации при аэрокосмическом мониторинге динамических объектов // Электронная техника. Серия 2. Полупроводниковые приборы. – 2018. – Вып. 1 (248). – С.72-77.
3. Василевский В.В. Синтез состояния подвижных объектов при накоплении измерительной информации аэрокосмического мониторинга / Системный анализ, управление и навигация: Тезисы докладов. Сборник. – М.: МАИ, 2018. – 200 с. – С. 197-198.
4. Афанасьев В.Н., Колмановский В.Б., Носов В.Р. Математическая теория конструирования систем управления. – М.: Высшая школа, 1989. – 364 с.

References

1. Vasilevsky V.V. The method of estimating the state of indefinitely-stochastic dynamic systems based on aerospace monitoring. Actual Issues of Space System Design: Collection of scientific papers. No.6. Edited by G.M. Polishchuk, K.M. Pichkhadze. M.: Blok-Inform-Ekspress. 2015.
2. Vasilevsky V.V., Mikholenok A.N., Zhebel A.S. High-performance algorithm for preliminary digital processing of video information for aerospace monitoring of dynamic objects. Electronic Engineering. Ser.2. Semiconductor Devices. 2018. No.1 (248). pp. 72-77.
3. Vasilevsky V.V. Synthesis of the moving object states with the accumulation of aerospace monitoring measurement data. System Analysis, Control and Navigation: Abstracts. Collection. M.: MAI. 2018. pp.197-198.
4. Afanasyev V.N., Kolmanovskiy V.B., Nosov V.R. Mathematical theory of Designing Control Systems. M.: Vyshaya Shkola. 1989. p.364.