УДК 629.783

ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ВИДЕОИНФОРМАЦИИ ПРИ АЭРОКОСМИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

В. В. Василевский¹, А. Н. Михоленок², А. С. Жебель²

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

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

Исследуется проблема повышения эффективности применения аэрокосмических комплексов мониторинга при выявлении динамических объектов. Предложен подход к выполнению этой задачи, обеспечивающий построение высокопроизводительного вычислительного алгоритма цифровой обработки кадров изображения с использованием детерминированной двумерной модели оценивающего функционала. Приведена схема вычислительного алгоритма.

Ключевые слова: аэрокосмический комплекс мониторинга, алгоритм цифровой обработки изображений, кластер, оценивающий функционал

Сведения об авторах: Василевский Валерий Владимирович, к.в.н., доцент, echinops777@rambler.ru; Михоленок Александр Николаевич, д.т.н., man949@yandex.ru; Жебель Александр Сергеевич, аспирант, zhebel@pulsarnpp.ru.

HIGH-PERFORMANCE ALGORITHM FOR PRELIMINARY DIGITAL PROCESSING OF VIDEO INFORMATION FOR AEROSPACE MONITORING OF DYNAMIC OBJECTS

V. V. Vasilevsky¹, A. N. Mikholyonok², A. S. Zhebel²

¹Moscow Aviation Institute (National Research University), 125993, Moscow,

²JSC «S&PE «Pulsar», 105187, Moscow, Okruzhnoy proezd, 27

The problem of increasing the efficiency of aerospace monitoring complexes for the detection of dynamic objects is investigated. The approach to this task is proposed, which provides creation of a high-performance computational algorithm for digital processing of image frames using the deterministic two-dimensional model of the evaluating functional. The scheme of the computational algorithm is given.

Keywords: aerospace monitoring complex, digital image processing algorithm, functional evaluating cluster.

Data of Authors: Valeriy Vladimirovich Wasilevski Vasilevsky, Ph. D., Associate Professor, echinops777@rambler.ru; Aleksandr Nikolaevich Miholenok Mikhalyonok, Doctor of Engineering, man949@yandex.ru; Zhebel Aleksandr Sergeevich, postgraduate, zhebel@pulsarnpp.ru.

Введение. Постановка задачи

Одной из существенных проблем применения аэрокосмических комплексов мониторинга (АКМ) при выявлении одиночных динамических объектов является повышение оперативности обработки изображений,

получаемых с использованием матричного фотоприёмного устройства (ФПУ) видимого спектрального диапазона. Возможное направление её решения связано с реализацией технологий бортовой автоматизированной обработки данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в режиме ре-

ального времени и последовательного принятия решений по результатам выполнения каждого из этапов обработки.

Остановимся на задаче реализации первого этапа получения данных ДЗЗ при АКМ, включающего выполнение задач по предварительной цифровой обработке получаемой видеoinформации и выявлению одиночных динамических объектов. К классу одиночных динамических объектов в процессе АКМ здесь будем относить технические средства, характеризующиеся определёнными геометрическими параметрами и изменяемым во времени вектором состояния.

Возможно решение данной задачи с использованием одноуровневой модели изображения, обеспечивающей выделение контуров при обработке кадра изображения одним из локальных операторов – Лапласа, Собеля, Робертса и другими. В результате выполнения этой вычислительной процедуры выделяется высокочастотная (контурная) составляющая этого изображения, которая затем добавляется к изображению с некоторым весом [1]. При этом формируется множество контурных линий, что значительно усложняет алгоритм принятия решений.

Известен подход к решению задач анализа сцен изображений и сегментации текстурного поля на основе иерархической двухуровневой вероятностной модели ансамбля изображения [2]. Её верхний (управляющий) уровень описывается марковской моделью рисунка границ, разделяющих области почти постоянной яркости, нижний – гаусс-одномарковским случайным полем. При этом решается задача статистического оценивания этих параметров по максимуму апостериорной вероятности.

В ряде работ предложены алгоритмы обработки изображений на основе оценки градиента структурного тензора, структурно-лингвистического распознавания образов наземных сцен [3, 4].

Целью настоящей работы является исследование возможности построения высокопроизводительного алгоритма цифровой обработки видеoinформации ДЗЗ и выде-

ления одиночных динамических объектов, основанного на детерминированной модели изображения и оценивающего функционала [5].

Входными данными системы обработки являются текущий кадр видеоизображения, параметры фонообъектовой обстановки; выходными – выделенный объект в виде бинарного кластера его элементов. При этом моделью подобного кластера является конечное множество бинарных элементов (пикселей) изображения, принимающих значения «1» в пределах контура объекта и значение «0» вне этого пространства. Таким образом, результаты этапа предварительной обработки видеoinформации ДЗЗ представляют множество областей постоянной яркости («1» или «0») [6].

Построение модели изображения

При детерминированном представлении модель изображения $u(x, y)$ – действительная функция двух переменных $(x, y) \in W$, принадлежащая метрическому пространству M , элементы которого отражают существенные характеристики реальных изображений [7].

Во-первых, положительности и ограниченности функции:

$$0 \leq u(x, y) \leq U_m, \quad (x, y) \in W, \quad (1)$$

где U_m – известное значение положительной константы для определённых условий аэрокосмического мониторинга.

Модель изображения вида (1) необходимо дополнить ограничениями на изменчивость функции $u(x, y)$, оцениваемой с помощью функционала $\Omega(u)$.

Во-вторых, ограниченности полной вариации функции:

$$V(u) = \sup_a^b \sum_{k=2}^n |u(x_k) - u(x_{k-1})| \quad (2)$$

где $a = x_1 < x_2 < \dots < x_n = b$ – множество точек строки y изображения $x \in [a, b]$ при фиксированном значении $y \in [c, d]$.

Для оценки изменчивости видеоизображения может быть использован оценивающий функционал $\Omega(u)$, определяемый нормой элемента $u(x, y)$ в пространстве $V_a^b(u)$,

который является одномерным при фиксированном значении $y \in [c, d]$.

Развитием детерминированной модели изображения является построение оценивающего функционала двумерной функции $u(x, y)$ с полной вариацией (вариацией Тонелли) на прямоугольнике (кадре) размером $D = [a, b] \times [c, d]$ вида:

$$\Omega_T(u) = \Omega(u, D) = \int_a^b V_u^1(x) dx + \int_c^d V_u^2(y) dy, \quad (3)$$

где $V_u^1(x) \equiv \text{var}_{c \leq y \leq d} u(x, y)$, $V_u^2(y) \equiv \text{var}_{a \leq x \leq b} u(x, y)$ – полная вариация функции $u(x, y)$ на прямоугольнике (кадре) D .

С учётом подхода, предложенного А. С. Кронродом, двумерная модель оценивающего функционала определяется соответственно линейной $V_1(u)$ и плоской $V_2(u)$ вариациями функции изображения $u(x, y)$:

$$V_1(u) = \int_a^b V_0(u_l) dl, \quad (4)$$

где $V_0(u_l)$ – нулевая вариация множества, u_l – число компонент множества u_l (уровня l функции $u(x, y)$);

$$V_2(u) = \int_a^b V_1(u_l) dl, \quad (5)$$

где $V_1(u_l)$ – вариация первого порядка множества, u_l – длина (по Хлусдорфу) множества u_l (уровня l функции $u(x, y)$).

При этом функции $V_0(u_l)$, $V_1(u_l)$ измеримы по Лебегу, а функционалы $V_1(u_l)$, $V_2(u_l)$ раскладываются в разность двух монотонных функций.

Используемый подход к решению задачи

Решение задачи выделения кластеров в кадре изображения сводится к нахождению оценок функционала $\Omega(u)$, измеряющего изменчивость изображения, через полную вариацию функции $U = u(x, y) \in M(D)$:

$$\Omega(u) = V_1(u) + V_2(u). \quad (6)$$

Для практического применения функционала $\Omega(u)$ целесообразно использовать смысловые характеристики вариаций кластеров – линейную вариацию, определяемую значением длины контура, плоскую вариацию – значением площади:

$$V_2(u) = \int_a^b \int_c^d |\text{grad } u(x, y)| dx dy. \quad (7)$$

Если положить непрерывную дифференцируемость двумерной функции изображения $u(x, y)$ на прямоугольнике (кадре) D , что обычно выполняется, то оценка его изменчивости определяется следующим функционалом $\Omega(u)$:

$$\Omega(u) = \int_a^b \int_c^d |\text{grad } u(x, y)| dx dy. \quad (8)$$

Для используемой двумерной модели изображения, представляемой суммой контурной и гладкой составляющих вида $u(x, y) = \varphi(x, y) + s(x, y)$, функционал $\Omega(u)$ определяется соотношением

$$\Omega(u) = d(l, D) + S(u, D), \quad (9)$$

которое предусматривает получение оценок двух параметров – длины $d(l, D)$ контура и площади $S(u, D)$ кластеров.

В зависимости от содержания задач обработки данных ДЗЗ, условий фоновой обстановки в вычислительном алгоритме реализуется одно- или двухпараметрическая процедура определения функционала $\Omega(u)$.

Вычислительный алгоритм цифровой обработки видеoinформации

Предлагаемый высокопроизводительный алгоритм цифровой обработки видеoinформации ДЗЗ при выделении одиночных объектов мониторинга предусматривает следующую последовательность процедур и вычислительных операций (рис. 1): считывание кадра видеоизображения с выхода ФПУ, преобразование в полутоновое изображение; скользящая по строкам и столбцам пороговая обработка элементов полутонового изображения; сортировка и слияние элементов изображения в кластеры, оценивание линейной и плоской вариаций кластеров; фильтрация и выделение кластера объекта мониторинга, передача параметров выделенного кластера объекта в модуль комплексного анализа данных ДЗЗ.

Рис. 1

Схема вычислительного алгоритма

Рис. 2

Тестирование вычислительного алгоритма (полученный кадр ВИ и выделенный кластер объекта соответственно)

На рис. 2 приведён тестовый вариант оценки эффективности вычислительного алгоритма при мониторинге динамического одиночного объекта, при реализации которого выделен на кадре изображения и классифицирован по геометрическим параметрам, динамике изменения вектора состояния и типу местности (фоновой обстановки) кластер «судно».

Исследована возможность создания бортового специализированного вычислительного устройства АКМ на базе однородных вычислительных сред (ОВС), функционирующего по принципу автомата [7]. Выбор его функционального построения обеспечивает распараллеливание вычислительных процедур и получение данных по одиночным объектам мониторинга в режиме реального времени. Оперативность обработки двоичной информации не превышает величины 4 мс при тактовой частоте 5 МГц, которая обеспечивается ПЛИС. Реальный размер вычислителя на ОВС может быть доведён до 100 мм и определяется числом ячеек структуры, интегрированных в кристалл ПЛИС. При тактовой частоте 20 МГц потребляемая мощность не превышает 250 мВт, при частоте 1,2 МГц – 14 мВт на кристалл ОВС, что является вполне приемлемым для бортового вычислителя.

Заключение

В работе рассмотрено решение задачи АКМ при выявлении одиночных динамических объектов на основе реализации алгоритма цифровой обработки получаемой видеoinформации ДЗЗ в режиме реального времени.

Анализ полученных результатов исследования позволяет сформулировать следующие выводы.

1. Двумерная модель оценивающего функционала видеоизображения определяется линейной и плоской вариациями функции изображения $u(x, y)$.

2. Решение задачи выделения одиночных динамических объектов сводится к точной цифровой обработке и нахождению

геометрических параметров оценивающего функционала кадра изображения. Высокопроизводительный алгоритм цифровой обработки может быть реализован использованием ОВС для выполнения вычислительных процедур и операций.

3. Построение оптимального алгоритма полной предварительной цифровой обработки изображений связано с его дальнейшей формализацией на основе априорной информации о статистических характеристиках фонообъектовой обстановки, а также выполнения комплексного анализа данных ДЗЗ.

Литература

1. Шовенгердт Р. А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. – М.: Техносфера, 2010. – 560 с.
2. Безрук А. А., Лебедев Д. С. Выделение контуров на основе иерархической двухуровневой вероятностной модели ансамбля изображений // Иконика. Цифровая обработка видеoinформации. – М.: Наука, 1989. – С. 5-18.
3. Грузман И. С. Оценка эффективности алгоритмов сегментации на основе градиента структурного тензора // Известия ВУЗов. Радиоэлектроника. – 2012. – № 2. – С. 22-29.
4. Гнилицкий В. В., Инсаров В. В., Чернявский А. С. Алгоритм принятия решения в задаче селекции объектов на изображениях наземных сцен // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2010. – № 6. – С. 143-151.
5. Милюкова О. П. Изображение как функция с ограниченной полной вариацией // Иконика. Цифровая обработка видеoinформации. – М.: Наука, 1989. – С. 19-25.
6. Василевский В. В. Синтез алгоритма и устройство оперативной автоматизированной обработки данных аэрокосмического мониторинга // Специальная техника. – 2015. – № 2. – С. 27-43.
7. Василевский В. В., Михоленок А. Н. Метод и алгоритм предварительной цифровой обработки изображений на основе однородных вычислительных структур // Электронная техника. Серия 2. Полупроводниковые приборы. – 2015. – Вып. 2-3 (236-237). – С. 43-47.

References

1. R. A. Shovengerdt. Remote sensing. Models and methods of image processing. – M.: Tekhnosfera, 2010. p.560.

2. A. A. Bezruk, D. S. Lebedev. Edge detection on the basis of a two-level hierarchical probabilistic model of images ensemble. *Ikonika. Tsifrovaya obrabotka videoinformatsii* [Ikonika. Video-image digital processing]. M.: Nauka, 1989.-128. pp.5-18.
3. I. S. Gruzman. Evaluation of the efficiency of segmentation algorithms based on the gradient of the structural tensor. *Izvestiya VUZov. Radioelektronika* [Proc. of the Universities. Radio electronics]. 2012, No.2, pp.22-29.
4. V. V. Gnilitsky, V. V. Insarov, A. S. Chernyavskiy, Decision-making algorithm for the task of objects selection on terrestrial images. *Izvestiya RAN. Teoriya i sistemi upravleniya* [Proc. of RAS. Management theory and systems]. 2010. No.6. pp.143-151.
5. O. P. Milyukova. Image as a function with bounded total variation. *Ikonika. Tsifrovaya obrabotka videoinformatsii* [Ikonika. Video-image digital processing]. M.: Nauka. 1989. – pp.19-25.
6. V. V. Vasilevsky. Algorithm synthesis and the device for operative automated processing of aerospace monitoring data. *Spetsialnaya Tekhnika* [Special Equipment]. 2015. No.2. pp.27-43.
7. V. V. Vasilevsky. A. N. Mikholenok. The method and the algorithm for digital pre-processing of images based on uniform computational structures. *Elektronnaya tekhnika. Seriya 2. Poluprovodnikoviyе pribory* [Electronic Engineering. Series 2. Semiconductor Devices] Scientific and technical journal. Issue 2-3 (236-237). 2015. pp.43-47.