

МЕТОД И АЛГОРИТМ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ОДНОРОДНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СТРУКТУР

© В. В. Василевский¹, А. Н. Михоленок²

¹Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
125993, г. Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, 4
²ОАО «НПП «Пульсар», 105187, г. Москва, Окружной пр., 27

Рассматривается проблема повышения эффективности и качества обработки данных дистанционного зондирования Земли в целях выявления неоднородностей и аномалий на исходном изображении. Предложен алгоритм комплексной цифровой обработки многоспектральных изображений и структура спецвычислителя для решения задач потоковой обработки кадров в режиме реального времени.

Ключевые слова: дистанционное зондирование земли, цифровая обработка изображений, корреляционный метод, спецвычислитель

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

THE METHOD AND THE ALGORITHM AND DSP IMAGES BASED ON UNIFORM COMPUTATIONAL STRUCTURES

V. V. Vasilevsky¹, A. N. Mikholenok²

¹Moscow Aviation Institute (National Research University), 125993, Moscow, A-80, Volokolamskoye highway, 4
²JSC «S&PE «Pulsar», 105187, Moscow, Okruzhnoy proezd, 27

The problem of improving the efficiency and quality of processing of remote sensing in order to detect anomalies and irregularities in the original image is considered. An algorithm is proposed for complex digital processing of multispectral images and special calculator structure to meet the challenges of real-time frames stream processing.

Keywords: remote sensing, digital image processing, correlation method, spetsvychislitel

Data of authors: Vasilevsky Valery Vladimirovich, Ph.D., associate professor, echinops777@rambler.ru; Mikholenok Aleksandr Nikolayevich, Ph.D., man949@yandex.ru

Одним из существенных требований, предъявляемых к перспективным средствам дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), технического зрения роботизированных комплексов и других систем мониторинга, является обеспечение достоверности и высокой оперативности получаемой информации. Научно-техническое обеспечение выполнения этой задачи предусматривает:

– создание приёмников излучения в наиболее информативных участках электромагнитного спектра;

– разработку специального программного обеспечения спецвычислителя, реализующего практически в реальном времени цифровую предобработку кадров изображений и подготовку необходимых данных дистанционного зондирования [1].

Остановимся на задаче создания спецвычислителя для реализации потоковой цифровой обработки сигналов излучений динамических объектов при использовании приёмника оптического диапазона (0,38...0,76 мкм) излучений.

Анализ алгоритмов дешифрирования и обнаружения динамических объектов показывает, что обработка изображений при движении носителя с приёмником излучений и формирования панхроматического и цветового изображений связана с выполнением большого объёма матричных операций.

Поэтому представляет актуальность задача разработки алгоритмов цифровой обработки изображений и соответствующего спецвычислителя с меньшими функциональными возможностями, но являющегося проблемно ориентированным вычислительным устройством, построенным на базе однородных вычислительных структур по принципу «читающего» автомата, обеспечивающего максимальное распараллеливание вычислительных операций, режим реального времени обработки и требуемые точностные характеристики данных ДЗЗ.

Решаемая спецвычислителем задача по потоковой комплексной цифровой обработке изображений (видеоряда) и выявления неоднородных структур (аномалий) может быть решена корреляционным методом [2].

Проведём построение алгоритма потоковой цифровой обработки кадров изображений.

Пусть на выходе приёмника излучения соответствующего спектрального диапазона имеется яркостная картина – изображение, размером 32x32 элемента. Каждый элемент яркостной картины представлен 8-разрядным двоичным числом (кодом). При этом физическому смыслу соответствуют только положительные значения этих 8-разрядных кодов.

Коэффициент корреляции изображения и эталона представляет собой скалярное произведение центрированных и нормиро-

ванных векторов текущего изображения и эталона:

$$R = \max_j (\underline{a}'_{sj} \cdot \underline{a}'_u), \quad (1)$$

где $j = 1, 2, \dots, L$ – номер сдвига изображения относительно эталона; $\underline{a}'_s, \underline{a}'_u$ – нормированные и центрированные векторы эталона и текущего изображения, соответственно.

Средняя яркость картины определяется значением:

$$\langle a \rangle = \frac{1}{L} \sum_{j=1}^L a_j, \quad (2)$$

где a_j – яркость j -го элемента, $j = 1, 2, 3 \dots 1024$; L – количество элементов в картине-изображении, $L = 1024$.

Центрированная величина яркости каждого элемента определяется следующим соотношением:

$$a'_j = a_j - \langle a \rangle, \quad (3)$$

и затем производится нормировка яркостной картины:

$$a = \frac{a'}{\|a'\|}, \quad (4)$$

где норма $\|a'\|$ вводится скалярным произведением векторов $a' \cdot a'$, то есть

$$\|a'\|^2 = \frac{1}{L} \sum_{j=1}^L a'_j \cdot a'_j. \quad (5)$$

Центрирование и нормировка значений яркости для каждого элемента производится только для текущего кадра изображения и эталона.

С учётом приведённых соотношений выражение для коэффициента корреляции принимает вид:

$$R = \max_j \frac{\sum_{i=1}^n \left(a_{i\alpha j} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_{i\alpha j} \right) \cdot \left(a_{in} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_{in} \right)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \left(a_{i\alpha j} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_{i\alpha j} \right)^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(a_{in} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_{in} \right)^2}}. \quad (6)$$

Главная трудность вычисления коэффициента корреляции R заключается в том, что в реальной ситуации приходится вычислять довольно большое число коэффициентов корреляции, несмотря на то, что процесс вычисления однороден, он занимает довольно значительное время, пропорциональное числу векторов $a_{\alpha j}$.

Тем не менее, из-за своей однородности он может быть успешно распараллелен.

Вектор a_n соответствует картине изображения, а вектор $a_{\alpha j}$ представляет собой часть (32x32 элемента) картины эталона. Всего таких векторов $a_{\alpha j} - 1089$, то есть $j = 1, 2, 3, \dots, 1089$. Действительно, из картины эталона размером 64x64 элемента путем горизонтальных и вертикальных сдвигов рамки размером 32x32 элемента можно получить 1089 различных 1024-х компонентных векторов $a_{\alpha j}$. При этом сложность алгоритма вычисления коэффициента корреляции R заключается в том, что каждый из 1089 векторов эталона будет иметь свои, отличные от других векторов, средние яркость и норму, которые необходимо вычислять отдельно для каждого вектора эталона.

Процесс вычисления коэффициентов корреляции R между векторами $a_{\alpha j}$ и вектором a_n , кроме того, имеет следующую особенность: два разряда двоичного 8-разрядного числа (компоненты вектора эталона) используются для записи кода одного из трёх возможных типов статистических законов распределения яркости данного элемента картины эталона. Поэтому, для каждого из трёх участков вектора эталона при сравнении с вектором изображения необходимо вычислять свой коэффициент корреляции R .

Элементы вектора изображения $a_{\alpha j}$ также кодируются по типу статистического закона распределения яркости и при сличении изображения с эталоном

каждому элементу вектора изображения присваивается двоичный код соответствующего элемента вектора эталона a_n .

Такое искусственное кодирование элементов вектора изображения приводит к возникновению 1089 различных векторов изображения (по числу всевозможных векторов эталона), что, в свою очередь, требует отдельного вычисления для каждого из 1089 векторов изображения как средней яркости, так и нормы каждого вектора изображения.

Коэффициент корреляции R_j представляет, таким образом, сумму частных коэффициентов корреляции, вычисленных по компонентам отдельно для каждого из трёх кодов:

$$R_j = C_{K1} \cdot R_j^{K1} + C_{K2} \cdot R_j^{K2} + C_{K3} \cdot R_j^{K3}, \quad (7)$$

где $R_j^{K_i} = (a'_{\alpha j} \cdot a'_{n_j})$ – частный коэффициент корреляции j -тых векторов эталона и изображения для i -го кода ($i = 1, 2, 3$) одного из статистических законов распределения яркости элементов векторов.

Коэффициенты C_{K_i} известны заранее и характеризуют различие в значении дисперсии для каждого из трёх статистических законов распределения яркости картин эталона и изображения.

Сравнение всех 1089 векторов эталона и изображения (вычисление величин R_j) можно производить одновременно. Таким образом, для сокращения времени вычисления необходимо параллельное вычисление коэффициентов корреляции R_j . При этом вычислительный процесс должен состоять из 1089 параллельных ветвей. Схема алгоритма работы спецвычислителя при совместной обработке и определении коэффициентов корреляции R_j кадров изображений представлена на рис. 1.

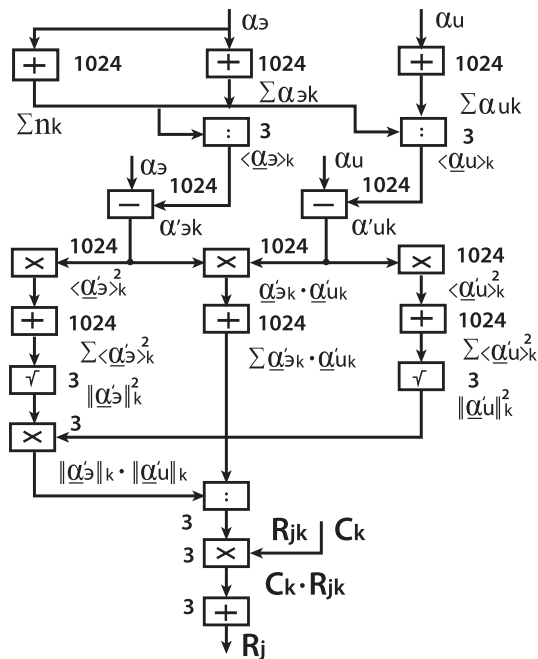


Рис. 1

Схема алгоритма работы спецвычислителя



Рис. 2

Результирующее изображение при потоковой обработке кадров

Отличительной особенностью предложенного алгоритма обработки изображений, с точки зрения вычислительного процесса, является его повторяемость по операциям суммирования. Операция вычисления суммы в рассматриваемом алгоритме повторяется трижды: первый раз – при вычислении среднего значения яркости картины-изображения, а второй и третий раз – при вычислении скалярных произведений $\|a'\|^2$ и f_N^j , соответственно. Операция суммирования наиболее трудно поддаётся распараллеливанию в однородной вычислительной структуре (ОВС) [3].

Таким образом, наибольший выигрыш по быстродействию обеспечивает распараллеливание алгоритма вычисления скалярных произведений f_N^j .

На примере применения летательного аппарата (ЛА), оснащённого приёмниками приёма излучений оптического диапазона, может быть решена задача дешифрирования и обнаружения аномалий поверхности наблюдения с использованием разработанного алгоритма (рис. 2).

На результирующем кадре красным цветом выделены элементы изображения, характеризующиеся минимальным значени-

ем коэффициента корреляции из-за наличия аномалий (неоднородностей) на кадре оптического спектрального диапазона.

Литература

1. Шовенгердт Р. А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. – М.: Техносфера, 2010. – 560 с.
2. Василевский В. В., Занин К. А. Синтез многоцелевой системы мониторинга земной поверхности // Актуальные вопросы проектирования космических систем и комплексов: сборник научных трудов. – М.: Блок-Информ-Экспресс, 2005. – Вып. 6. – С. 40-45.
3. Губарев Л. М., Дулин В. Н., Струков А. З. Однородные вычислительные среды и вопросы их микроэлектронного исполнения // Известия ВУЗов СССР. Радиоэлектроника. – 1971. – Т. XIV. – № 12. – С. 1265-1281.
4. Прангишвили И. В. Микроэлектроника и однородные структуры для построения логических и вычислительных устройств. – М.: Наука, 1967. – 228 с.
5. Евреинов Э. В., Косарев Ю. Г. Однородные универсальные вычислительные системы высокой производительности. – Новосибирск: Наука, 1966. – 186 с.
6. Угрюмов Е. П. Цифровая схемотехника. – СПб.: БХВ-Петербург, 2010. – 810 с.

7. Оппенгейм А. В., Шафер Р. В. Цифровая обработка сигналов. – М.: Связь, 1979. – 325 с.

References

1. Shovengerdt R. A. *Distantionnoe zondirovanie. Modeli i metody obrabotki izobrazheniy* [Remote probing. Models and methods of image processing]. Moscow, Tekhnosfera Publ., 2010, 560 p.
2. Vasilevsky V. V., Zanin K. A. Synthesis of multi-purpose Earth surveillance system. *Aktualnye voprosy proektirovaniya kosmicheskikh sistem i kompleksov: sbornik nauchnykh trudov* [Actual issues of designing the space systems and complexes: collection of scientific papers], Moscow, Blok-Inform-Ekspres Publ., 2005, № 6, pp. 40-45.
3. Gubarev L. M., Dulin V. N., Strukov A. Z. Homogeneous computation environments and challenges of their microelectronic execution. *Izvestiya vuzov SSSR. Radioelektronika* [News on USSR Higher Education. Radio engineering], 1971, T. XIV, № 12, pp. 1265-1281.
4. Prangishvili I. V. *Mikroelektronika i odnorodnye struktury dlya postroeniya logicheskikh i vychislitelnykh ustroystv* [Microelectronic and homogeneous structures for logical and calculation devices]. Moscow, Nauka Publ., 1967, 228 p.
5. Evreinov E. V., Kosarev Yu. G. *Odnородnye universalnye vychislitelnye sistemy vysokoy proizvoditelnosti* [Homogeneous all-purpose computers with high performance]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1966, 186 p.
6. Ugryumov E. P. *Tsifrovaya skhemotekhnika* [Digital circuitry]. St. Petersburg, BHV-Petersburg Publ., 2010, 810 p.
7. Oppengeym A. V., Shafer R. V. *Tsifrovaya obrabotka signalov* [Digital signal processing]. Moscow, Svyaz Publ., 1979, 325 p.