

## СПЕЦВЫЧИСЛИТЕЛЬ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОЙ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

© В. В. Василевский<sup>1</sup>, А. Н. Михоленок<sup>2</sup>, М. Е. Гусев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),

125993, г. Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское ш., 4

<sup>2</sup>ОАО «НПП «Пульсар», 105189, г. Москва, Окружной пр., 27

Рассмотрена возможность реализации оперативной предварительной цифровой обработки изображений в бортовом вычислительном устройстве, построенном на основе однородной вычислительной среды. Предложена технология реализации вычислительного процесса, построения спецвычислителя и топология его функциональных ячеек.

**Ключевые слова:** спецвычислитель, однородная вычислительная среда, функциональная ячейка, кадр изображения, корреляционная функция, алгоритм

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

---

## SPECIAL COMPUTING DEVICE FOR ONLINE DIGITAL IMAGE PROCESSING

V. V. Vasilevsky<sup>1</sup>, A. N. Mikholenok<sup>2</sup>, M. E. Gusev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Moscow Aviation Institute (National Research University), 125993, Moscow, A-80, Volokolamskoye highway, 4

<sup>2</sup>JSC «S&PE «Pulsar», 105187, Moscow, Okružhnoy proezd, 27

The implementing possibility of operational advanced digital image processing at the onboard computing device, built on the basis of a homogeneous computing environment (HCE). The technology of the computational process implementation, construction of special computing device and topology of its functional cells. It is shown that the greatest gain in efficiency of streaming digital imaging provides parallelization of algorithm to compute the correlation functions and the image frames of reference card that runs HCE matrix topology of functional cells.

**Keywords:** special computing device, homogeneous computing environment, functional cell, a image frame, the correlation function, the algorithm

**Data of authors:** Vasilevsky Valeriy Vladimirovich, Ph.D., Associate Professor, echinops777@rambler.ru; Mikholenok Aleksandr Nikolaevich, Ph.D., man949@yandex.ru; Gusev Mikhail Evgenevich, gusev@pulsarnpp.ru

### **Введение**

В настоящее время при решении ряда задач мониторинга и управления в различных сферах социально-экономического развития важнейшим требованием, предъявляемым к средствам дистанционного зондирования Земли, технического зрения роботизированных комплексов и других систем, является обеспечение достоверности

и высокой оперативности получаемой информации о местоположении объектов [1].

При размещении аппаратуры (камеры) на борту летательного аппарата (ЛА) получение данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в режиме реального времени обеспечивается приёмом излучений соответствующего спектрального диапазона и осуществлением корреляционной обработки кадров изобра-

жений и опорных (эталонных) изображений (карт), которые характеризуются выполнением большого объема матричных операций [2].

Использование современных компьютеров, ориентированных на повышение производительности при выполнении этих операций конвейерным способом в специализированных роботизированных комплексах, не всегда оправдано из-за неприемлемого расхода мощности, обусловленного использованием БИС и СБИС сверхвысокого быстродействия, невысокой надежности и живучести этих устройств, значительных их массо-габаритных характеристик, а также необходимости разработки интерфейса для передачи данных и команд управления в каналы сопроцессор – система управления комплексом.

В настоящей работе исследуется возможность создания бортового специализированного вычислительного устройства (спецвычислителя) с меньшими функциональными возможностями, но являющегося проблемно ориентированным вычислительным устройством, построенным на базе однородных вычислительных сред (ОВС) [3-5].

Выбор принципа построения спецвычислителя обеспечивает максимальное распараллеливание вычислительных операций, обеспечение режима реального времени обработки изображений и высокие точностные характеристики полученных данных ДЗЗ.

### **Технология вычислительного процесса и построение спецвычислителя**

Под ОВС понимается регулярная структура, состоящая из множества одинаковых, связанных между собой функциональных ячеек (ФЯ), геометрически правильно расположенных в пространстве и способных выполнять ту или иную логическую функцию после настройки элементов. ФЯ рассматривается как автомат, способный настраиваться на выполнение той или иной логической функции. Таким образом, реализация спецвычислителя в ОВС сводится к операции настройки ФЯ на соответствующую функцию.

В соответствии с алгоритмом корреляционной обработки для реализации вычислительного процесса в конкретном варианте

исполнения бортового спецвычислителя необходимо обеспечить сравнение двух изображений, одно из которых (текущее) размером  $32 \times 32$  элемента, а другое (опорное) –  $64 \times 64$  элемента. Оба изображения ориентированы на плоскости  $(x, y)$  и являются излучениями яркостного оптического диапазона. Мера близости между двумя изображениями определяется корреляционной функцией вида  $R = \max f_N^j$ , где  $f_N^j = (a_n - a_i) \times (a_n - a_i)$  – скалярное произведение разности двух центрированных и нормализованных векторов, каждый из которых имеет  $32 \times 32$  независимых компонента, а  $N = 1, 2, \dots, 1089$  [2].

Вычислительный процесс по оцениванию корреляционной функции  $R = \max f_N^j$  в режиме реального времени распараллелен на 1089 ( $33 \times 33$ ) ветвей и реализуется ОВС определением функций скалярного произведения векторов  $f_N^j = (a_n - a_i) \times (a_n - a_i)$  в виде 32-разрядных двоичных чисел.

Для реализации вычислительного процесса (ввода-вывода изображений, выполнения арифметических операций, фиксации номера ячейки с максимальным значением корреляционной функции, хранения опорных карт и управления настройкой ячейки) каждая ячейка ОВС (рис. 1) должна включать устройство ввода-вывода (УВВ), оперативное запоминающее устройство (ОЗУ), арифметическое устройство, триггер максимума ( $Tr_{max}$ ) и местное устройство управления (МУУ).

Для выделения корреляционного экстремума необходимо провести  $N$  сравнений 32-разрядных чисел. Результат сравнения в каждой ячейке может фиксироваться триггером максимума. Каждый триггер максимума связан с координатными шинами ячеек ОВС, что позволяет указать номер ячейки и считать значение функции. Номер ячейки с максимальным коэффициентом корреляции определяет координаты выявленной на текущем кадре изображения локальной неоднородности поверхности мониторинга.

По оценке вычисление всех 1089 скалярных произведений осуществляется по предварительным расчетам за 20 мкс на ПЛИС, КМОП или ПЛИС с инжек-

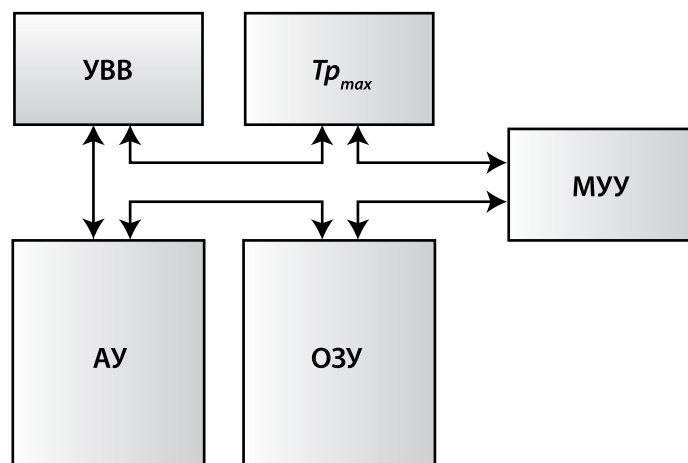


Рис. 1

## Структурная схема ячейки ОВС

ционной логикой при байтовой разрядной сетке яркости изображений [6, 7].

Совокупность ячеек ОВС образует «читающую головку» размером 33\*33 элемента. При этом конструктивное сочетание ячеек ОВС и однородной системы двумерного сдвигающего регистра позволяет до максимума сократить длину подводящих проводов интерфейса, обеспечить существенный выигрыш в объеме памяти и достигнуть относительно простого управления спецвычислителем.

Исходя из состава выполняемых логических базисных функций и функций соединения, схема сопряжения спецвычислителя на ОВС с бортовой ЭВМ (БЭВМ) имеет вид, представленный на рис. 2. Центральное устройство управления (ЦУУ) обеспечива-

ет информационное взаимодействие ОВС с БЭВМ, схема бортового оперативного запоминающего устройства (СБ ОЗУ) – реализацию процессов ввода-вывода кадров текущего изображения и соответствующих опорных карт, получения и хранения результатов цифровой обработки спецвычислителя.

Лучшей топологической структурой ОВС является размещение ФЯ на цилиндрической поверхности. Чётные и нечётные сечения цилиндрической поверхности обходятся читающей головкой в противоположных направлениях.

Оперативность обработки двоичной информации в спецвычислителе (быстродействие) определяется суммой времени ввода-вывода эталона в «читающую головку»,

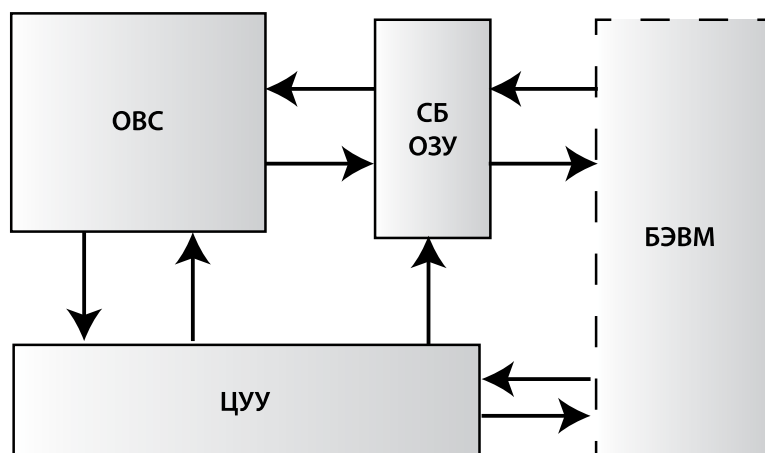


Рис. 2

## Сопряжение спецвычислителя на ОВС с бортовой ЭВМ

времени обработки кадра изображения с выхода приёмника ЛА, времени определения скалярных произведений и времени поиска максимума функций совместно с временем выдачи результатов обработки и не превышает величины 4 мс при тактовой частоте 5 МГц, которая обеспечивается ПЛИС. При этом время ввода-вывода новой опорной карты из СБ ОЗУ в двумерный регистр можно не учитывать, так как эта операция может быть совмещена с операцией обработки кадра изображения с выхода приёмника ЛА.

Реальный размер спецвычислителя на ОВС может быть доведён до 100 мм и определяться числом ячеек структуры, которые интегрированы в кристалл ПЛИС.

При тактовой частоте 20 МГц потребляемая мощность не превышает 250 мВт, а при частоте 1,2 МГц – 14 мВт на кристалл с 10-ю ячейками ОВС, что является вполне приемлемым для бортового спецвычислителя.

### Выводы

Исследована возможность создания бортового спецвычислителя на ОВС, обеспечивающего предварительную потоковую цифровую обработку изображений и получение данных ДЗЗ в реальном режиме времени на базе ОВС.

Наибольший выигрыш во времени потоковой цифровой обработки изображений позволяет обеспечить распараллеливание алгоритма вычисления скалярных произведений на 1089 ветвей, который выполняется ОВС матричной топологии из такого же количества ячеек.

Вычисление всех 1089 скалярных произведений и нахождение координат точки корреляционного экстремума, соответствующего местоположению локальной неоднородности, осуществляется ОВС за 20 мкс при использовании ПЛИС КМОП или ПЛИС с инжекционной логикой при байтовой разрядной сетке яркости изображений, а результирующее быстродействие спецвычислителя не превышает величины 4 мс при тактовой частоте 5 МГц. Реальный объём специализированного вычислителя может быть доведён до 100 мм. При тактовой частоте 20 МГц потребляемая мощность не превышает

250 мВт, а при частоте 1,2 МГц – 14 мВт на кристалл с 10-ю ячейками ОВС.

При значительном размере и большом объёме обрабатываемых кадров изображений различного спектрального диапазона лучшим топологическим построением структуры спецвычислителя является размещение ОВС на тороидальной поверхности.

### 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. Прангишвили И. В. Микроэлектроника и однородные структуры для построения логических и вычислительных устройств. – М.: Наука, 1967. – 228 с.
4. 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.
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 izobrazheniya* [Distant sensing. Models and methods of image processing]. Moscow, Tekhnosfera Publ., 2010, 560 p.
2. Vasilevsky V. V., Zanin K. A. *Aktualnye voprosy proektirovaniya kosmicheskikh sistem i kompleksov: sbornik nauchnykh trudov* [Issues of space systems and complexes design: collection of scientific papers]. Moscow, Blok-Inform-Ekspres Publ., 2005, vol. 6, pp. 40-45.
3. Prangivshvili I. V. *Mikroelektronika i odnorodnye struktury dlya postroeniya logicheskikh i vychislitelnykh ustroystv* [Microelectronics and homogeneous structures in creation of logical and computation devices]. Moscow, Nauka Publ., 1967, 228 p.

4. 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.
5. Evreinov E. V., Kosarev Yu. G. *Odnorodnye 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.