

## ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ INFORMATION TECHNOLOGIES AND TELECOMMUNICATION

УДК 621.377.2

DOI 10.18413/2518-1092-2016-1-2-60-63

Ушакова Н.Н.  
Винтаев В.Н.

**БЫСТРЫЕ ВАРИАНТЫ ОПЕРАЦИЙ ПРОБЛЕМНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ  
КОМПЬЮТЕРНОЙ АРИФМЕТИКИ**

1) доцент кафедры информационных систем и технологий, кандидат технических наук, доцент Белгородский университет кооперации, экономики и права, ул. Садовая 116а, г. Белгород, 308023, Россия  
*e-mail: natush2006@yandex.ru*

2) доцент кафедры информационных систем и технологий, кандидат технических наук, доцент Белгородский университет кооперации, экономики и права, ул. Садовая 116а, г. Белгород, 308023, Россия  
*e-mail: viktor.vn2010@yandex.ru*

### Аннотация

В работе приводится способ построения быстрых модификаций операций и алгоритмов поточной обработки данных при деконволюции космического изображения высокого разрешения в представлении деконволюции в проблемно-ориентированной компьютерной арифметике.

**Ключевые слова:** конволюция; деконволюция; проблемно-ориентированная компьютерная арифметика; обобщенная бинарная билинейная операция.

UDC 621.377.2

Ushakova N.N.  
Vintaev V.N.

**RAPID VARIATIONS IN THE OPERATIONS OF PROBLEM-ORIENTED  
COMPUTER ARITHMETIC**

1) Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. Department of Information Systems and Technologies, Belgorod University of Cooperation, Economy and Law, 116a Sadovaya St., Belgorod, 308023, Russia  
*e-mail: natush2006@yandex.ru*

2) Candidate of Technical Sciences, Associate Professor Department of Information Systems and Technologies, Belgorod University of Cooperation, Economy and Law, 116a Sadovaya St., Belgorod, 308023, Russia  
*e-mail: viktor.vn2010@yandex.ru*

### Abstract

The authors provide a quick way of building modifications, operations and algorithms of mass data processing with deconvolution of satellite images of high resolution in the representation of deconvolution in problem-oriented computer arithmetic.

**Keywords:** convolute; deconvolution; problem-oriented computer arithmetic; generalized bilinear binary operation.

### Введение

Основные процедуры в методе восстановления резкости – преобразования Ван-Циттера, конволюции и деконволюции, инверсная или винеровская с модификациями фильтрации, обработка обобщенным градиентным оператором наиболее оптимально организуются в виде поточных параллельно-конвейерных процессов,

что соответствует применению (особенно в бортовых вариантах модели распределенной среды) [3, 4].

Для пополнения пространства операций задачи восстановления резкости разработана порождающая проблемно-ориентированную компьютерную арифметику (ПОКА) обобщенная бинарная билинейная операция (ОББО) [3,4] со

сплошным спектром состояний, в числе которых свертка позиционных кодов, умножение кодов и промежуточные состояния, управляемая параметром взаимного сдвига частичных результатов в ромбе операции умножения или величиной аддитивного возмущения ее базовой таблицы. Однако вычислительная сложность ОББО соответствует вычислительной сложности операции свертки массивов и требует снижения ее, т.е. организации быстрых модификаций операции. Кроме того, большинство операций, включаемых в набор ПОКА для задач коррекции резкости на изображениях требуют снижения их сложности для повышения вычислительной эффективности решения задачи коррекции.

#### *Реализация быстрых вариантов операций проблемно-ориентированной компьютерной арифметики*

Математически ОББО строится как свертка двух  $Z$ -преобразований массивов (или как свертка двух полиномов) с формированием классического ромба столбцов с выполнением суммирования вдоль столбцов в ромбе с передачей возможных переносов в старшие по номеру столбцы, если взаимный сдвиг на оси порядков этих столбцов уменьшен. Управление этим сдвигом осуществляется выполнением схемы скалярного перемножения результата свертки с нормирующим вектором  $\rho c = \{\beta c i\}$ , где  $i$  – индекс, и степень вещественного основания  $\beta c$ .  $Z$ -преобразование (и полиномы), а также сами массивы представляют собой представление структурированной переменной в позиционной системе. Для операции умножения кортежей  $A$  и  $B$ , при этом, в соответствии с выше указанным, можно записать

$$Ax B = (A ** B, \rho c) \quad (1)$$

и в результате вычисления (1) получим, как принято считать в соответствии с определением скалярного произведения, скаляр  $\Sigma \{A ** B\}_i \{\beta c i\}$ , т.е. новый позиционный код из коэффициентов его позиционного представления. Если  $\beta c = \beta c 0$ , где  $\beta c 0$  – основание системы счисления, представляющей кортежи без искажений, записанные в полиномиальной форме  $A = \Sigma \{A\}_i \beta c i 0$  и  $B = \Sigma \{B\}_i \beta c i 0$ , то полученный результат и будет результатом выполнения операции умножения. При увеличении неравенства  $\beta c \gg \beta c 0$  достигается состояние ОББО – выполнение свертки, при  $\beta c = 1$  – наступает вырожденное состояние ОББО. ОББО – операция со сплошным спектром состояний (включающим состояния: \*\* – свертки,  $x$  – умножения и вырожденное состояние при  $\beta c$  (параметр

состояния операции) равно единице). Если операнды ОББО не  $Z$ -преобразования и не полиномы, то кортежи  $\{A\}_i$  и  $\{B\}_i$  в регистрах операндов размещаются в соответствии с принятой арабской позиционной системой, что легко достигается простой переиндексацией элементов кортежей.

При положительно определенной норме возмущения ОББО, будучи введенной в любой алгоритм вместо операции стандартного умножения порождает вариации исходного алгоритма с нарастающим возмущением верхних мод спектра результатов его работы с изображением.

При деконволюции (уменьшении апертуры функции рассеяния точки (ФРТ)) алгоритмы класса Фурье-преобразований, свертки, линейных фильтраций, реализуемые в алгебре с операциями «сложить» и «умножить», более эффективно осуществляются на основе операций, таких, например, как, восьми- четырех- или двухточечное преобразование Фурье, Адамара, Уолша, представимых довольно легко таблично и организуемых однократной выборкой значений из таблицы, размещаемой в согласованно структурируемой памяти компьютера [2]. Однако легко заметить, что этим таблицам однозначно соответствуют таблицы восьми-, четырех- или двухточечных свертки векторов соответствующих размерностей. При этом, вычислительное устройство, реализующее вычислительные процессы на основе «классической» арифметики, работает на порядки эффективнее, если в этой арифметической системе заменить двухместную операцию умножения, скажем, на перечисленные выше билинейные, то есть удовлетворяющие условиям дистрибутивности и тому подобным условиям табличные операции. Возврат вычислителя в традиционную арифметическую систему не только реализуется элементарно, но и обеспечивается при этом гораздо более эффективная реализация той же операции умножения. Примером тому теорема о замене классического алгоритма умножения целых чисел (алгоритма сложности  $n^2$  ( $n$  – разрядность операции с учетом того, что можно считать разрядности входных операндов одинаковыми, заменяя нулями отсутствующие старшие разряды у «малоразрядного» операнда)) тремя быстрыми преобразованиями Фурье (БПФ) (с вычислительной сложностью результирующей операции  $3n \log_2 n$ ; строго говоря, здесь еще присутствует аддитивная добавка в виде  $3n$ , где

$2n$  – количество операций при покомпонентном перемножении спектральных образов (достаточно использовать спектры первого и второго квадрантов спектральных координат) и  $n$  – вычислительные затраты на использование нормирующего вектора при приведении результата от свертки к умножению, но в данных расчета будем иметь в виду, что размерности решаемых задач не менее  $n = 256$ , и тогда добавкой в  $3n$  можно пренебречь).

При моделировании на ПК двумерной свертки двух изображений размерностью  $512 \times 512$  пикселей в индексной палитре (глубина цвета 1 байт) с реализацией модели конвейерно-параллельного вычислителя с условным распараллеливанием на 4 ветви, тактовой длиной 512 табличных операций с таблицами арифметической системы, представляющими собой табличные математические процессоры свертки размерностью  $2 \times 2$  вместо операции умножения, получено сокращение времени процедуры свертки по сравнению с использованием «традиционного» ускорения процедурой 512-точечного БПФ (конвейер в графе Баттерфляй) около 29 раз.

Расчетное сокращение времени составило примерно  $3 \times 512 \times 512 \times 16 / (4 \times 256 \times 256) = 48$  раз (в числителе – типовой расчет затрат тактов на использование БПФ, в знаменателе – расчет числа выборок из памяти для восстановления суммированием со сдвигом полноразмерной свертки).

Необходимость распараллеливания конвейерных (поточковых) алгоритмов и спецсредств для операций типа свертки играет важную роль и является одним из основных вычислительных элементов в координируемой коррекции – коррекции по формулам Ван Циттера, в вычислении значений погрешностей на сравниваемых изображениях, в фильтрации и обработке изображений масками. Количество повторений операции огромно, а что касается изображений высокого разрешения, размеры которых в одном спектральном канале (которых может быть десять и десятки) до  $10^{12}$  байт на отображаемую площадь обзора в 10 кв.км, а в системах со сверхразрешением число байт увеличивается на порядок. С учетом того что вычислительная сложность операции свертки имеет вид квадратичной зависимости, то число элементарных умножений байтов друг на друга в свертках достигает значений  $10^{26}$  -  $10^{28}$ . Уровень быстродействия современной элементной базы, для выполнения свертки в обозримое время - 20

минут на Земле и доли секунд на борту, требует высокой степени распараллеливания даже поточно выполняемых операций. Элементная база соответствующего аппаратного средства, построенного на принципе подключения необходимых модулей к конвейерно-параллельному тактируемому коммутатору – регистры с мультиплексными схемами, запоминающие устройства (ПЗУ и ОЗУ), программируемые логические матрицы, т.к. все алгоритмы (включая БПФ) просчитываются с требованием выдачи байтных кодов, т.е. всего 256 различных результатов (независимо от длины алгоритма), которые запоминаются как таблица специальной (однотактной) операции [1,5]. Предлагаемая архитектура обладает высокой степенью живучести за счет коммутируемой взаимозамены модулей, а набор табличных операций позволяет реализовать и «стандартную» арифметическую систему (представлением свертки или умножения табличными Фурье образами или на основе теоремы Рисса-Фреше об операторах и функционалах и рекомендуется в основном для применения в беспилотных авиасредствах.

#### **Заключение**

В результате доработки космических изображений с применением обобщенных операций и их эмуляции на ПК повышена их резкость (и, соответственно, реализуемое изображениями пространственное разрешение на местности) строго за счет подавления остаточной ФРТ до 1,2 – 1,4 раз.

Подавлена остаточная ФРТ на изображениях спутников ObrView-3, БКА-1-3, Канопус, «Ресурс-ДК», Ikonos, QuickBird (входящих в ряд разработок мирового уровня: ObrView-3, Spot-5, Pleiades-1A, Pleiades-1B - спутники с технологией сверхразрешения; БКА-1-3, Канопус, «Аркон», «Ресурс-ДК», Ikonos, QuickBird спутники с высоким разрешением).

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 14-07-00171 "Разработка теоретических основ методов моделирования и алгоритмов представления в обобщенных операциях трактов преобразования дистанционных данных с максимизацией эффективности обработки информации (цифровых космических изображений)".*

**Список литературы**

1. Алиева М.А., Винтаев В.Н., Исмаилов К.Х. Моделирование архитектуры бортового процессора с проблемной ориентацией // Исследование Земли из космоса, №2, Москва: Изд. АН СССР, 1987. – С.112-117.
2. Быстрые алгоритмы в цифровой обработке изображений. Преобразования и медианные фильтры / Под ред. Хуанга / М.: Радио и связь, 1984. 220 с.
3. Винтаев В.Н. Коррекция резкости космического изображения в проблемно-ориентированной компьютерной арифметике с функционализацией сингулярными на мере нуль функциями // Сборник научных статей по итогам международной научно-практической конференции 20-21 ноября 2015 года «Инновации в формировании стратегического вектора развития фундаментальных и прикладных научных исследований». Санкт-Петербург. Издательство «КультИнформПресс». – 2015. С. 91-102.
4. Винтаев В.Н., Жиленев М.Ю., Ушакова Н.Н. Обобщенные операции для специальной коррекции космических изображений высокого разрешения и поддержка функциональной полноты специальной коррекции// Сборник научных статей по итогам международной научно-практической конференции 2-3 октября 2015 года «Новейшие концепции фундаментальных и прикладных научных исследований: опыт, традиции, инновации, эффективная стратегия развития». Санкт-Петербург. Издательство «КультИнформПресс». – 2015. С. 72-80.
5. Винтаев В.Н., Константинов И.С., Ушакова Н.Н. Процессор целеуказания с матричным сенсорным полем. // Сб. докладов технологического конгресса «Современные технологии при создании продукции военного и гражданского назначения». Омск, 2001. – С.330-333.

**References**

1. Alieva M.A., Vintaev V.N., Ismailov K.H. Modeling the Architecture of the Onboard Processor with Problem Orientation // Earth Research from Space, № 2, Moscow: Izd. AN SSSR, 1987. Pp. 112-117.
2. Fast Algorithms in Digital Image Processing. Transform and Median filters/ Edited by Huang. M.: Radio and communication, 1984. 220 p.
3. Vintaev V.N. Correction of Field Space Image in Problem-oriented Computer Arithmetic Functionalization Singular at Zero as the Function// Collection of Scientific Articles on the Results of the International Scientific-practical Conference, November 20-21, 2015 "Innovation in Forming Strategic Direction of Development of Fundamental and Applied Scientific Researches". Saint-Petersburg. Publishing House "KultInformPress". 2015. Pp. 91-102.
4. Vintaev V.N., Gilani M.Yu., Ushakova N.N. Generic Operations for Special Correction of Space Images of High Resolution and Support for Special Functional Completeness Correction// Collection of Scientific Articles on the Results of International Scientific-practical Conference on October 2-3, 2015 "Latest Concepts of Fundamental and Applied Research: Experience, Tradition, Innovation, Effective Strategy Development". Saint-Petersburg. Publishing House "Kultinformpress". 2015. Pp. 72-80.
5. Vintaev V.N., Konstantinov I.S., Ushakova N.N. The Processor Targeting a Sensory Matrix Field. // Reports Technology Congress "Modern Technologies in Creating Products for Military and Civil Purposes". Omsk, 2001. Pp. 330-333.