

8. *Малюков С.П., Клунникова Ю.В.* Оптимизация производства изделий из сапфира для электронной техники. – LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG (Германия). – 2012. – 151 с.
9. *Малюков С.П., Стефанович В.А., Чередниченко Д.И.* Исследование модели самосогласованного роста монокристаллов сапфира по методу горизонтальной направленной кристаллизации // Известия вузов. Электроника. – 2007. – № 2. – С. 3-9.
10. *Лебедев Г.А., Малюков С.П., Стефанович В.А., Чередниченко Д.И.* Теплофизические процессы при получении кристаллов лейкосапфира методом горизонтальной направленной кристаллизации // Кристаллография. – 2008. – Т. 53, № 2. – С. 356-360.
11. *Малюков С.П., Стефанович В.А., Чередниченко Д.И.* Релаксация пузырей в расплаве лейкосапфира при получении кристаллов методом горизонтальной направленной кристаллизации // Кристаллография. – 2007. – Т. 52, № 6. – С. 1137-1140.
12. *Лыков А.В.* Теория теплопроводности. – М.: Высшая школа, 1967. – 600 с.
13. *Малюков С.П., Клунникова Ю.В.* Моделирование распределения температуры в процессе роста монокристаллов сапфира методом горизонтальной направленной кристаллизации в трехмерных координатах // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 4 (117). – С. 86-94.

Статью рекомендовал к опубликованию д.ф.-м.н., профессор А.И. Жорник.

Малюков Сергей Павлович – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; e-mail: malyukov@fep.tsure.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 88634371603; кафедра конструирования электронных средств; зав. кафедрой, д.т.н.; профессор.

Клунникова Юлия Владимировна – e-mail: jklunnikova@rambler.ru; кафедра конструирования электронных средств; ассистент.

Куликова Ирина Владимировна – e-mail: cuttlefish99@mail.ru; кафедра конструирования электронных средств; доцент.

Malyukov Serguei Pavlovich – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: malyukov@fep.tsure.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371603; the department of electronic apparatuses design; head the department; dr. of eng. sc.; professor.

Klunnikova Yulia Vladimirovna – e-mail: jklunnikova@rambler.ru; the department of electronic apparatuses design; assistant.

Kulikova Irina Vladimirovna – e-mail: cuttlefish99@mail.ru; the department of electronic apparatuses design; lecturer.

УДК 004.932.2

С.С. Кривенко, В.В. Лукин, О.И. Еремеев, В.В. Воронин, В.И. Марчук

УСКОРЕНИЕ ОБРАБОТКИ И ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫЧИСЛЕНИЙ ПРИ ФИЛЬТРАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ДКП*

Рассмотрены вопросы распределенной цифровой обработки изображений с целью ускорения фильтрации и сохранения информации, определяющей визуальное качество. Предложено несколько подходов к выполнению ДКП-фильтрации в частично перекрывающихся блоках, которые позволяют дать рекомендации по выбору параметров алгоритмов и рассмотреть варианты организации вычислений, обеспечивающие повышение быстродействия. Показано, что распределенная фильтрация на основе дискретного косинусного

* Работа выполнена в рамках федеральной целевой программы ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009–2013 гг.

преобразования позволяет ускорить обработку в десятки раз по сравнению со стандартным алгоритмом. При этом в соответствии с общепринятыми метриками визуальное качество ухудшается незначительно.

Распределённые вычисления; дискретное косинусное преобразование; фильтрация изображений; визуальное качество изображений.

S.S. Krivenko, V.V. Lukin, O.I. Ereemeev, V.V. Voronin, V.I. Marchuk

FASTER PROCESSING AND ALGORITHMS WHEN FILTERING IMAGES BASED ON DCT

The paper deals with the distributed digital image processing to speed filtering and storage of information, which determines the visual quality. Proposed several approaches to the implementation of DCT filtering overlapping blocks that allow us to give guidelines for choosing the parameters of the algorithms and to consider options for processing for increased performance. Showed that the distribution-based filtering of discrete cosine transform to accelerate the processing of tens of times faster than the standard algorithm. However, in accordance with generally accepted metrics visual quality deteriorates slightly.

Distributed computing; discrete cosine transform; image filters; the visual quality of the images.

Изображения в настоящее время используют для разнообразных приложений в медицине, радиолокации, дистанционном зондировании (ДЗ), ежедневной жизни (цифровые фотоаппараты, Интернет, социальные сети). Видео также может рассматриваться как последовательность изображений (кадров). Качество исходных (первичных) изображений далеко не всегда удовлетворяет пользователей, поскольку на них могут влиять шум и другие типы искажений [1]. Поэтому часто используют методы и алгоритмы цифровой обработки изображений (ЦОИ), основное назначение которых – устранить основные типы искажений и повысить качество изображений, в том числе визуальное. При этом необходимо иметь в виду, что любые методы ЦОИ наряду с полезным эффектом подавления помех или устранения основного вида искажений вносят в обработанные изображения другие искажения, уровень которых должен быть приемлемым. Кроме того, часто обработку, например, фильтрацию, необходимо проводить с высоким быстродействием. Такое требование особенно актуально, если количество изображений, которые необходимо обработать, велико, что имеет место при обработке данных многоканального ДЗ, видео, в современных медицинских диагностических комплексах и т.д.

Несмотря на то, что в последнее время предложено большое число новых и разнообразных методов фильтрации [2], причем некоторые из них по своей эффективности близки к потенциальному пределу (особенно для текстурных изображений и при высоком уровне помех), большинство из этих методов относятся к классу нелокальных и предусматривают поиск в обрабатываемом изображении подобных блоков, что является трудоемкой операцией, требующей значительных вычислительных и временных затрат. В то же время, фильтрация на основе дискретного косинусного преобразования (ДКП) при полном (предельном) перекрытии блоков по своей эффективности либо не уступает, либо уступает лишь незначительно наилучшим нелокальным методам фильтрации [3]. При этом она обладает гораздо более высоким быстродействием благодаря использованию быстрых алгоритмов (или спецпроцессоров) ДКП и обработке данных в блоках с фиксированным размером 8x8 пикселей.

Вместе с тем, даже быстродействие ДКП-фильтрации с полным перекрытием блоков может оказаться неприемлемым (недостаточным) для ряда приложений. Тогда можно использовать обработку с частичным перекрытием блоков или без перекрытия блоков [4], что позволяет, с одной стороны, существенно (в разы и

даже десятки, до 64 раз) уменьшить объем основных вычислений. С другой стороны, использование фильтрации без перекрытия или с частичным перекрытием блоков приводит к снижению ее эффективности по сравнению с эффективностью (в соответствии с традиционными критериями, например, среднеквадратической ошибкой на выходе) фильтрации с полным перекрытием блоков. Поэтому необходимо разработать или выбрать компромиссный вариант, дать рекомендации по выбору параметров алгоритма и рассмотреть варианты организации вычислений, обеспечивающие повышение быстродействия. Именно эти аспекты и анализируются в данной статье.

При ДКП-фильтрации в каждом блоке изображения $\{I_{ij}, i = 1, \dots, I_s, j = 1, \dots, J_s\}$ ($I_s \times J_s$ – размер обрабатываемого изображения) выполняют прямое двумерное ДКП с получением массива коэффициентов $\{D(n, m, k, l), k = 0, \dots, 7, l = 0, \dots, 7\}$, где n, m – индексы верхнего левого угла блока, k, l – индексы ДКП-коэффициентов, $D(n, m, 0, 0)$ характеризует средний уровень в блоке. Далее ко всем ДКП-коэффициентам, за исключением $D(n, m, 0, 0)$, значение которого оставляют неизменным, применяют ту или иную пороговую обработку с получением $\{D_{thr}(n, m, k, l), k = 0, \dots, 7, l = 0, \dots, 7\}$. К полученным значениям $\{D_{thr}(n, m, k, l), k = 0, \dots, 7, l = 0, \dots, 7\}$ применяют обратное двумерное ДКП, в результате чего получают отфильтрованные значения $\{I^f(n, m, p, q), p = n, \dots, n + 7, q = m, \dots, m + 7\}$.

При полном перекрытии блоков значения n и/или m для соседних блоков отличаются на единицу, при обработке с частичным перекрытием блоков – на $r \leq 8$, а при фильтрации без перекрытия – на $r = 8$ [4]. Если используется полное или частичное перекрытие блоков, то почти для всех пикселей с индексами i, j (за исключением находящихся вдоль от границ изображения) получают несколько отличающихся друг от друга выходных значений, рассчитанных для разных положений блоков, которым принадлежит данный пиксель с индексами i, j . Например, при $r = 4$ пиксель с индексами $i = 5, j = 5$ принадлежит как блоку с $n = 1, m = 1$, так и блоку с $n = 5, m = 5$. Поэтому при формировании итогового изображения на выходе фильтра $\{I^f(i, j), i = 1, \dots, I_s, j = 1, \dots, J_s\}$ для каждого пикселя обычно усредняют выходные значения $\{I^f(n, m, p, q), i = n + p, j = m + q\}$ для всех блоков, которым принадлежит данный пиксель.

Существенное значение имеет методика пороговой обработки, применяемой к ДКП-коэффициентам в блоках после прямого преобразования. Известно, как минимум, три типа пороговой обработки – с использованием мягкого, жесткого и комбинированного порогов. Использование мягкого порога обычно приводит к менее эффективной обработке по сравнению со случаями применения двух других типов порогов [4, 5]. При использовании жесткого порога:

$$D_{thr}(n, m, k, l) = \begin{cases} 0, & |D(n, m, k, l)| < T(n, m, k, l) \\ D(n, m, k, l), & \text{если } |D(n, m, k, l)| \geq T(n, m, k, l), \end{cases} \quad (1)$$

где $T(n, m, k, l)$ – локальный порог, равный $b\sigma(m, n, k, l)$, b – параметр (обычно фиксированный, рекомендуемое значение – 2,6), $\sigma(m, n, k, l)$ – локальное среднеквадратическое отклонение (СКО) помех, которое в общем виде зависит от про-

пространственных координат m и n (при сигнально-зависимом характере помех), а также от частотных индексов k и l (при пространственно-коррелированных помехах). Если шум аддитивный и белый, то $T(n, m, k, l) = 2, 6\sigma$ (σ – СКО шума).

При использовании комбинированного порога обработка реализуется в виде

$$D_{thr}(m, n, k, l) = \begin{cases} D(m, n, k, l), & |D(m, n, k, l)| \geq b\sigma(n, m, k, l) \\ D^3(m, n, k, l)/b^2\sigma^2(n, m, k, l), & |D(m, n, k, l)| < b\sigma(n, m, k, l) \end{cases} \quad (2)$$

где рекомендуемое значение b равно 4. При обработке с полным перекрытием и установке порогов в соответствии с приведенными выше рекомендациями алгоритмы фильтрации с использованием (1) или (2) обеспечивают примерно одинаковую эффективность фильтрации не только в соответствии с традиционными метриками среднеквадратической ошибки (MSE_{out}) или пикового отношения сигнал-шум ($PSNR_{out}$) на выходе этих фильтров, но и в соответствии с метриками, хорошо описывающими визуальное качество изображений, например, $PSNR-HVS-M$ [6] и $MSSIM$ [7]. Такие выводы были получены для случая аддитивного белого гауссова шума со значениями дисперсии $\sigma^2 = 50$ и $\sigma^2 = 100$ для стандартного набора тестовых изображений в градациях серого (Lena, Baboon, Goldhill, Barbara, Peppers).

Рассмотрим теперь результаты для ДКП-фильтрации без перекрытия и с частичным перекрытием блоков. Данные моделирования, представленные в работе [4] для обработки с жестким порогом (1) и разными значениями $r \leq 8$, показали, что при увеличении r эффективность фильтрации, как и следовало ожидать, снижается в соответствии с метрикой MSE_{out} (или $PSNR_{out}$). При $r = 8$ MSE_{out} примерно в два раза больше (а $PSNR_{out}$ на 3 дБ меньше), чем при $r = 1$. Существенно ухудшаются и значения других метрик – $MSSIM$ и $PSNR-HVS-M$ (снижается более, чем на 3 дБ). Такое ухудшение качества хорошо заметно визуально (ухудшение визуального качества практически незаметно, если $PSNR-HVS-M$ уменьшается меньше, чем на 0,5 дБ). В частности, наблюдаются блочные эффекты подобные тем, которые имеют место при сжатии JPEG.

Интересно, что при ДКП-фильтрации без перекрытия, но с использованием комбинированного порога (2), снижение эффективности фильтрации по сравнению со случаем полного перекрытия блоков заметно меньше. В соответствии с метрикой $PSNR_{out}$ оно составляет порядка 2 дБ, а с метрикой $PSNR-HVS-M$ – порядка 2,5 дБ. Конечно, такое снижение качества также заметно визуально, но при этом быстродействие обработки по сравнению со случаем полного перекрытия блоков повышается примерно в 60 раз, если считать, что временные затраты, в основном, обусловлены выполнением прямого и обратного ДКП в блоках (операции пороговой обработки являются очень простыми).

Уменьшение r приводит к повышению эффективности обработки в соответствии со всеми тремя рассматриваемыми метриками ($PSNR_{out}$, $MSSIM$ и $PSNR-HVS-M$). Одновременно снижается быстродействие обработки вследствие увеличения числа позиций блоков, для которых необходимо выполнять прямое и обратное ДКП. Среди алгоритмов ДКП-фильтрации с $1 < r < 8$ особого внимания заслуживает случай $r = 4$. Этот вариант может оказаться подходящим для практических целей, поскольку ДКП-фильтрация осуществляется приблизительно в 16 раз быстрее, чем для фильтра с полным перекрытием блоков (и в 4 раза медленнее, чем для фильтра без перекрытия блоков). Усреднение выполняется для четырех значений для всех пикселей, исключая пограничные. Исследования показали, что и при $r = 4$ лучше использовать комбинированный порог (2), чем жесткий порог (1). Поэтому дальнейшее рассмотрение сосредоточим на этом алгоритме.

Полученные результаты представлены в табл. 1, $\sigma^2 = 100$. Первое значение в каждой ячейке приведено для обработки с порогом (2) и $r = 4$, а второе (через /) – для фильтрации с порогом (2) и с полным перекрытием ($r = 1$). Очевидно, что различия невелики (чем меньше MSE_{out} и больше PSNR-HVS-M и MSSIM, тем более эффективна обработка). При меньших значениях дисперсии помех (которые более характерны для большинства практических приложений), в частности, при $\sigma^2 = 50$ (табл. 2), различия обычно становятся еще меньше и обработанные изображения для анализируемых методов обработки часто становятся практически неразличимыми визуально (обладающими примерно одинаковым визуальным качеством) [8].

Таблица 1

Значения метрик эффективности фильтрации для анализируемых алгоритмов, $\sigma^2 = 100$

Изображение	MSE_{out}	PSNR-HVS-M, дБ	MSSIM
Lena	23,23/19,79	34,94/35,54	0,9780/0,9804
Goldhill	35,42/31,02	33,24/33,98	0,9722/0,9757
Baboon	64,68/57,73	33,13/34,02	0,9759/0,9800
Barbara	31,01/25,14	34,52/35,53	0,9810/0,9835
Peppers	25,69/22,41	34,93/35,74	0,9769/0,9793

Таблица 2

Значения метрик эффективности фильтрации для анализируемых алгоритмов, $\sigma^2 = 50$

Изображение	MSE_{out}	PSNR-HVS-M, дБ	MSSIM
Lena	15,53/13,41	37,60/38,42	0,9852/0,9868
Goldhill	23,04/20,33	36,29/37,10	0,9826/0,9849
Baboon	37,62/33,94	36,90/37,67	0,9858/0,9880
Barbara	18,83/15,36	37,54/38,52	0,9877/0,9895
Peppers	18,04/16,07	37,50/38,24	0,9836/0,9851

Проиллюстрируем различие в визуальном качестве выходных изображений для случаев фильтрации без перекрытия и с перекрытием при $r = 4$. Зашумленное изображение Goldhill, $\sigma^2 = 100$, приведено на рис. 1,а. Помехи хорошо заметны, особенно на однородных участках, и существенно снижают качество изображения. Фрагмент выходного изображения при обработке без перекрытия показан на рис. 1,б. Хотя помехи частично подавлены, визуально заметны блочные артефакты, снижающие визуальное качество обработанного изображения.

Тот же фрагмент при фильтрации с $r = 4$ при использовании порога (2) с $b = 4$ приведен на рис. 1,в. Очевидно, что визуальное качество изображения на выходе этого фильтра гораздо выше.

Блочные эффекты отсутствуют, помехи подавлены более эффективно, а полезная информация (границы площадных объектов, малоразмерные объекты, текстуры) хорошо сохранены. Таким образом, применение обработки с использованием $r = 4$, порога (2) и $b = 4$ является хорошим компромиссом, если приоритетной задачей является повышение быстродействия при сохранении высокой эффективности фильтрации.

Если необходимо дополнительно улучшить быстродействие алгоритма фильтрации, то это можно сделать путем распараллеливания вычислений. Для этого можно сформировать четыре изображения, для которых координаты крайних верхних блоков описываются парами индексов (1, 1), (1, 5), (5, 1) и (5, 5). Каждое

из этих изображений обрабатывается отдельно без перекрытия блоков, поэтому обработка может выполняться параллельно соответствующими процессорами. Затем отфильтрованные значения усредняются.



Рис. 1. Тестовое изображение Goldhill, искаженное аддитивным белым гауссовым шумом с дисперсией $\sigma^2 = 100$ (а), фрагмент этого изображения после ДКП-фильтрации без перекрытия блоков (б) и с частичным перекрытием (в), иллюстрация частичного перекрытия блоков (г)

Можно также обрабатывать лишь два изображения, благодаря чему сэкономить вычислительные ресурсы. С этой целью из исходного изображения $\{I_{ij}, i = 1, \dots, I_s, j = 1, \dots, J_s\}$ сформируем два отдельных изображения: $\{I_{1ij} = I_{ij}, i = 1, \dots, I_s, j = 1, \dots, J_s\}$ и $\{I_{2ij} = I_{ij}, i = 1, \dots, I_s, j = 1, \dots, J_s\}$. Положения блоков для первого и второго изображений условно показаны на рис. 1, г соответственно сплошными и пунктирными линиями. Затем первое и второе изображения обрабатываются независимо (параллельно) с обработкой блоков без перекрытия и использованием порога (2) и $b = 4$. В результате получаем фильтрованные изображения. Затем для всех пикселей, которые не принадлежат полосам вдоль границ изображения, получают итоговое отфильтрованное изображение.

Эффективность этого алгоритма в соответствии с используемыми метриками несколько ниже, чем фильтрация с частичным перекрытием блоков с $r = 4$, но существенно выше, чем фильтрация в блоках без перекрытия. Так, при $\sigma^2 = 100$ значения MSE_{out} , PSNR-HVS-M и MSSIM соответственно равны 25,60, 34,19 и 0,976 для тестового изображения Lena, 37,15, 33,02 и 0,9720 для изображения Goldhill, 73,62, 32,76 и 0,975 для изображения Baboon, 34,00, 33,97 и 0,979 для изображения Barbara, 27,89, 34,37 и 0,975 для изображения Peppers (сравните эти данные с соответствующими данными в табл. 1).

Блочные эффекты практически не наблюдаются. При параллельной обработке двух сформированных изображений временные затраты такие же, как и при обработке изображений в блоках без перекрытия. Поэтому описанный выше алгоритм также может быть хорошим практическим компромиссом между эффективностью и быстродействием обработки, если требования к быстродействию приоритетны. Если даже для этого алгоритма время, затрачиваемое на обработку, оказывается больше, чем требуемое, то оба сформированных изображения могут обрабатываться не параллельно и по частям.

Поскольку изображения обычно представлены двумерными массивами целых чисел, то дополнительное ускорение обработки может быть достигнуто за счет использования целочисленного ДКП (такие алгоритмы к настоящему времени разработаны).

Таким образом, предложены несколько подходов к выполнению ДКП-фильтрации в частично перекрывающихся блоках, которые позволяют существенно (в разы и десятки раз) повысить быстродействие и уменьшить вычислительные затраты без существенного снижения эффективности обработки в соответствии с различными метриками. Хотя в статье результаты получены и примеры приведены для случая аддитивных пространственно-некоррелированных помех, разработанные подходы применимы и при ДКП-фильтрации изображений, искаженных сигнально-зависимыми и/или пространственно коррелированными помехами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Марчук В.И., Воронин В.В., Шерстобитов А.И. и др. Методы цифровой обработки сигналов для решения прикладных задач: Монография / Под ред. В.И. Марчука. – М.: Изд-во «Радиотехника», 2012. – 128 с.
2. Chatterjee P., Milanfar P. Is Denoising Dead? // IEEE Transactions on Image Processing. – 2010. – Vol. 19 (4). – P. 895-911.
3. Lukin V., Abramov S., Ponomarenko N., Egiazarian K., Astola J. Image Filtering: Potential Efficiency and Current Problems // Proceedings of ICASSP. – 2011. – P. 1433-1436.
4. Lukin V.V., Oktem R., Ponomarenko N., Egiazarian K. Image filtering based on discrete cosine transform // Telecommunications and Radio Engineering. – 2007. – Vol. 66 (18). – P. 1685-1701.
5. Лукин В.В., Февралев Д.В., Пономаренко Н.Н. Исследование потенциальной эффективности фильтрации изображений на основе дискретного косинусного преобразования // Радіоелектронні і комп'ютерні систем. – 2009. – № 4. – С. 17-25.
6. Ponomarenko N., Silvestri F., Egiazarian K., Carli M., Astola J., Lukin V. On between-coefficient contrast masking of DCT basis functions // Proceedings of VPQM. – 2007. – P. 4.
7. Wang Z., Simoncelli E.P., Bovik A.C. Multi-scale structural similarity for image quality assessment // IEEE Asilomar Conf. on Signals, Systems and Computers. – 2003. – P. 43-49.
8. Марчук В.И., Воронин В.В., Шерстобитов А.И. Сравнительный анализ результатов восстановления изображений двумерным методом размножения оценок и его модификаций // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2010. – Т. 6 (1). – С. 26-34.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Д.А. Безуглов.

Кривенко Сергей Станиславович – Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ"; e-mail: krivenkos@inbox.ru; Украина, г. Харьков, ул. Чкалова, 17, кафедра 504; тел.: +79885343459; к.т.н.; старший научный сотрудник.

Лукин Владимир Васильевич – e-mail: lukin@ai.kharkov.com; д.т.н.

Еремеев Олег Игоревич – e-mail: lukin@ai.kharkov.com; кафедра приема, передачи и обработки сигналов; м.н.с.

Воронин Вячеслав Владимирович – ФГБОУ ВПО «Южно-Российского государственного университета экономики и сервиса»; e-mail: Voronin_sl@mail.ru; 346500, Ростовская обл., г. Шахты, ул. Шевченко, 147; тел.: +79885343459; кафедра радиоэлектронных систем; к.т.н.; доцент.

Марчук Владимир Иванович – e-mail: Marchuk@sssu.ru; тел.: +79185088273; кафедра радиоэлектронных систем; зав. кафедрой; д.т.н.; профессор.

Krivenko Sergey Stanislavovich – National Aerospace University. N.E. Zhukovsky "NAI"; e-mail: krivenkos@inbox.ru; 17, Chkalov street, department 504, Kharkov, Ukraine; phone: +79885343459; cand. of eng. sc.; senior scientist.

Lukin Vladimir Vasil'evich – e-mail: lukin@ai.kharkov.com; dr. of eng. sc.

Eremeev Oleg Igorevich – e-mail: lukin@ai.kharkov.com; the department of reception, transmission, and signal processing; junior.

Voronin Viacheslav Vladimirovich – FGBOU VPO "South-Russian State University of Economics and Service"; e-mail: Voronin_sl@mail.ru; 147, Shevchenko street, Shahty, Rostov Region, 346500, Russia; phone: +79885343459; the department of radio electronic systems; cand. of eng. sc.; associate professor.

Marchuk Vladimir Ivanovich – e-mail: Marchuk@sssu.ru; phone. +79185088273; the department of radio electronic systems; head the department; dr. of eng. sc.; professor.

УДК 004.932.2

В.В. Лукин, С.К. Абрамов, В.В. Абрамова, А.И. Шерстобитов, В.П. Федосов

**ОСОБЕННОСТИ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ
МЕТОДОВ АВТОМАТИЧЕСКОГО ОЦЕНИВАНИЯ ДИСПЕРСИИ
СЛОЖНЫХ ПОМЕХ НА ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ***

Рассмотрены особенности программно-аппаратной реализации метода автоматического определения дисперсии смеси сигнально-независимых и сигнально-зависимых помех на мульти- и гиперспектральных изображениях систем дистанционного зондирования Земли. Метод основан на оценивании параметров регрессионной прямой, вписанной по центрам кластеров скаттерограммы локальных оценок дисперсии и среднего. Для нахождения центров кластеров использован алгоритм, основанный на анализе статистических характеристик ДКП-коэффициентов изображения. Полученные оценки дисперсии помех в дальнейшем могут быть использованы для оптимизации сжатия изображений. Метод предназначен для использования непосредственно на бортовом сигнальном процессоре носителя и реализован с учетом максимально возможного распараллеливания и принципов конвейерной обработки. Программно-аппаратные средства могут найти применение и для других приложений при условии, что помехи пространственно-некоррелированы и имеется достоверная априорная информация о модели помех, позволяющая выбрать вид и порядок регрессионного полинома.

Дистанционное зондирование; многоканальная система; сложные помехи; автоматическое оценивание дисперсии помех.

* Работа выполнена в рамках федеральной целевой программы ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009–2013 гг.