

УДК 519.23: 528.854

**В. В. АБРАМОВА, С. К. АБРАМОВ, В. В. ЛУКИН, Г. А. ПРОСКУРА**

*Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Украина*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ МЕТОДА ОЦЕНИВАНИЯ ДИСПЕРСИИ ПОМЕХ НА ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ**

*Рассмотрен метод автоматического оценивания дисперсии помех, основанный на анализе характеристик распределений коэффициентов дискретного косинусного преобразования. Исследована возможность повышения быстродействия данного метода за счет уменьшения числа обрабатываемых блоков изображения. На основании данных численного моделирования, проведенных для большой базы тестовых изображений, показано, что при использовании блоков с частичным перекрытием либо без перекрытия время, необходимое для получения оценки дисперсии помех, может быть уменьшено в десятки раз, при этом для низко- и среднетекстурных изображений точность оценивания снижается незначительно.*

**Ключевые слова:** цифровая обработка изображений, аддитивные помехи, автоматическое оценивание дисперсии помех, повышение быстродействия.

### **Введение**

Изображения являются наиболее удобным и интуитивно понятным способом представления информации, что обуславливает широту их использования в различных областях научной и практической деятельности человека. В зависимости от конкретной сферы применяемые системы формирования изображений (СФИ) могут быть различными, начиная от аэрокосмических систем дистанционного зондирования Земли, систем слежения, медицинских диагностических систем и заканчивая бытовыми фотокамерами. Несмотря на очевидные различия характеристик описанных СФИ, общей особенностью сформированных ими изображений является присутствие на них помех [1], характеристики которых должны учитываться при проведении последующей обработки. Поскольку в реальных системах качество формируемых изображений зависит от множества факторов, предсказать характеристики помех априорно практически невозможно. Поэтому их получают (оценивают) непосредственно по обрабатываемому изображению при помощи специальных автоматических методов [2].

Методы автоматического оценивания характеристик помех должны соответствовать ряду требований. В первую очередь это несмещенность либо приемлемо малая смещенность [3, 4] полученных оценок параметров помех. Во-вторых, используемый метод должен быть робастным в широком смысле [5], т.е. сохранять работоспособность при небольших отклонениях параметров реальных помех от используемой

модели. В-третьих, метод должен обладать высоким быстродействием, что особенно важно при обработке больших объемов данных (big data) на борту летательных аппаратов. Примером таких данных являются гиперспектральные изображения, число каналов в которых может достигать нескольких сотен [6]. Поэтому для приложений, связанных с обработкой гиперспектральных изображений, обеспечение высокого быстродействия используемых методов является одним из ключевых требований.

Существующие методы автоматического оценивания характеристик помех могут быть условно разделены на три группы [2]: методы, работающие в пространственной области, методы, работающие в спектральной области и методы, основанные на оценивании максимального правдоподобия характеристик шума и изображения [7]. Для методов первой группы обычно характерны высокое быстродействие и независимость оценок параметров от пространственно-корреляционных свойств помех. Однако при работе с высокотекстурными изображениями такие методы, как правило, обеспечивают существенно завышенные оценки параметров помех. Методы второй группы также характеризуются достаточно высоким быстродействием и позволяют более точно по сравнению с методами первой группы оценивать параметры помех на высокотекстурных изображениях. Недостатком методов, принадлежащих к этой группе, является то, что в случае пространственно-коррелированного шума обеспечиваемые такими методами оценки параметров помех оказываются существенно заниженными. Методы третьей группы по-

звояють получить наиболее точные оценки параметров помех на высокотекстурных изображениях, однако это требует проведения ресурсозатратных вычислений. Поэтому быстродействие таких методов существенно ниже по сравнению с методами из первой и второй групп.

Для реальных изображений (в том числе и изображений ДЗ) характерно наличие большого числа текстурных участков, соответствующих разным типам подстилающих поверхностей, поэтому используемые для их обработки методы должны быть хорошо приспособленными для работы с высокотекстурными изображениями. При этом, как уже было отмечено ранее, при работе с гиперспектральными изображениями критически важным требованием является обеспечение высокого быстродействия. Наиболее перспективными в плане обеспечения перечисленных требований являются методы, работающие в спектральной области, поэтому именно на них будет сфокусировано внимание в данной работе.

### Постановка задачи

В данной работе будет рассмотрен простейший случай, когда шум на изображении является аддитивным. Несмотря на то, что для изображений, полученных современными гиперспектральными системами, такими как AVIRIS, Nuregion, CASI, характерно присутствие так называемых сложных помех, представляющих собою смесь аддитивного и сигнально-зависимого шумов, задача оценивания дисперсии аддитивного шума по-прежнему представляет интерес. С одной стороны, изображение, искаженное аддитивным шумом, может быть получено в результате применения соответствующих гомоморфных преобразований [8] к изображениям, искаженным сигнально-зависимым или смешанным шумом. С другой стороны, на изображении, искаженном сигнально-зависимым шумом, в пределах одного кластера (интервала значений интенсивности) шум также может считаться аддитивным [2].

Среди методов второй группы, предназначенных для оценивания дисперсии аддитивного шума, одним из наиболее точных является метод [9], содержащий следующие основные этапы.

1. Детектирование однородных участков изображения посредством анализа значений локальных оценок модифицированного куртозиса в блоках  $8 \times 8$  пикселей.

2. Анализ распределений коэффициентов дискретного косинусного преобразования (ДКП), полученных в блоках, соответствующих однородным участкам изображения.

3. Получение предварительной оценки дисперсии в результате совместной обработки ДКП

коэффициентов, соответствующих определенным условиям [9].

4. Повторение шагов 1 – 3 до тех пор, пока разница между предварительной и скорректированной оценками дисперсии не окажется ниже заранее установленного порога.

Несмотря на то, что алгоритм реализации данного метода является достаточно быстрым, для обработки больших объемов данных может потребоваться дополнительное ускорение его работы.

Значительную часть времени работы метода занимает получение локальных оценок модифицированного куртозиса, подразумевающее расчет оценок статистических моментов первого, второго и четвертого порядков. В базовой версии метода используются блоки с полным перекрытием (на каждом последующем шаге осуществляется сдвиг блока на один пиксель), то есть общее число блоков, подлежащих обработке, составляет:

$$N_{\text{бл}} = (I_H - N + 1)(I_W - N + 1), \quad (1)$$

где  $I_H$ ,  $I_W$  – вертикальный и горизонтальный размеры изображения;

$N \times N$  – размер блока, в данном случае  $N=8$ .

Одним из возможных путей повышения быстродействия метода является уменьшение числа обрабатываемых блоков за счет использования неперекрывающихся блоков либо блоков с частичным перекрытием. Очевидно, что уменьшение числа обрабатываемых блоков может привести к снижению точности оценивания дисперсии помех. Поэтому в данной статье будет исследована зависимость точности оценивания дисперсии методом [9] от степени перекрытия блоков, а также проверена возможность повышения быстродействия данного метода при сохранении его приемлемой точности.

### Критерии точности и быстродействия метода оценивания дисперсии помех

В качестве критериев точности оценивания дисперсии помех в данной работе были использованы:

1) *смещенность оценок дисперсии:*

$$\Delta = \left\langle \hat{\sigma}_a^2 \right\rangle - \sigma_a^2, \quad (2)$$

где  $\hat{\sigma}_a^2$  – значение оценки дисперсии помех для одной реализации шума;

$\left\langle \hat{\sigma}_a^2 \right\rangle$  – усреднение по ансамблю реализаций помех;

$\sigma_a^2$  – истинное значение дисперсии помех;

2) *дисперсия оценивания:*

$$\theta^2 = \left\langle \left( \hat{\sigma}_a^2 - \left\langle \hat{\sigma}_a^2 \right\rangle \right)^2 \right\rangle; \quad (3)$$

3) *приведенная ошибка оценивания:*

$$\varepsilon^2 = \Delta^2 + \theta^2; \quad (4)$$

4) *относительная погрешность оценивания:*

$$\delta = \varepsilon / \sigma_a^2. \quad (5)$$

Для оценки быстродействия базового метода при различных степенях перекрытия блоков использовались такие критерии, как:

1) *усредненное по ансамблю реализаций помех время, затрачиваемое на получение оценки дисперсии:*

$$t_{cp} = \langle t_i \rangle, \quad (6)$$

где  $t_i$  – время получения оценки дисперсии для  $i$ -той реализации шума;

2) *среднее квадратическое отклонение (СКО) времени получения оценки дисперсии:*

$$\theta_t = \sqrt{\langle (t_i - t_{cp})^2 \rangle}. \quad (7)$$

Для получения статистической достоверности результатов усреднение производилось по 100 реализациям помех. Измерение времени работы метода производилось средствами языка Matlab.

### Анализ полученных результатов

На рис. 1 представлены результаты оценивания дисперсии помех с использованием метода [9] при различных степенях перекрытия блоков. Под степенью перекрытия понимается отношение количества пикселей, общих для предыдущего и текущего положений блока, к общему количеству пикселей в

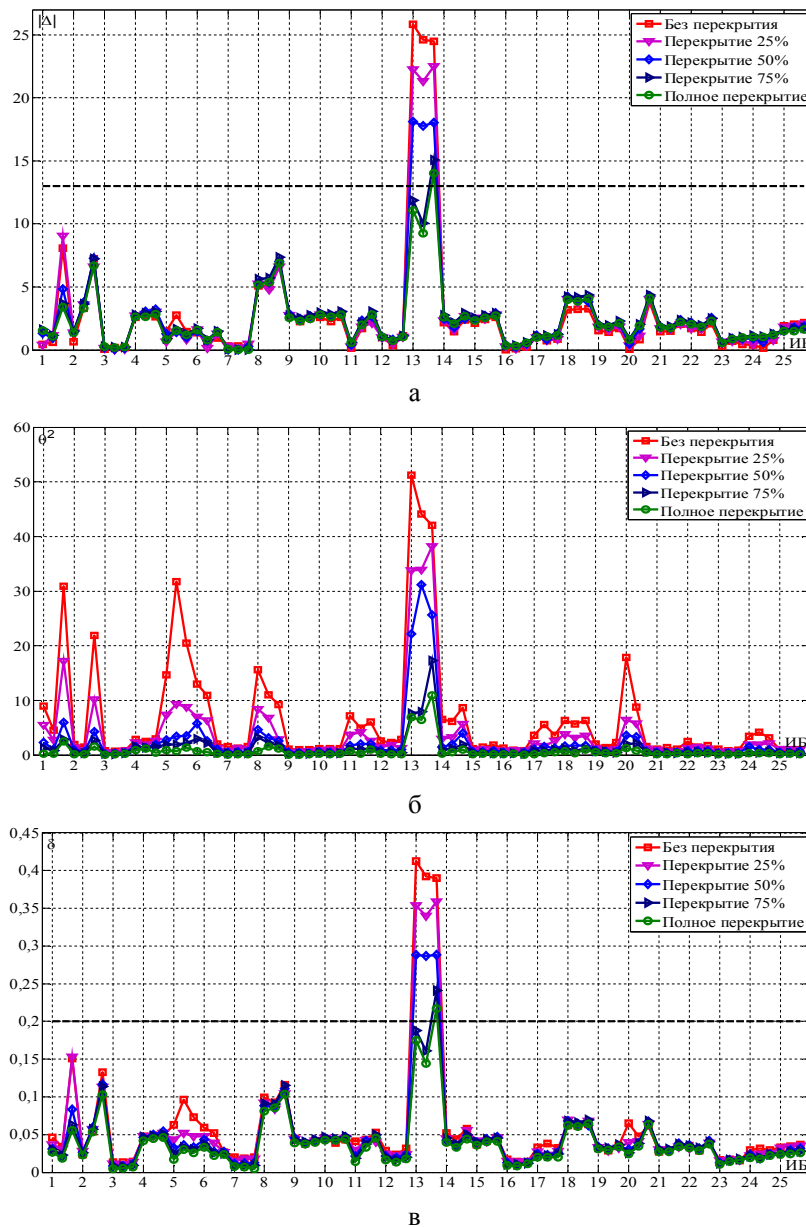


Рис. 1. Результаты оценивания дисперсии шума (модуль смещенности (а), дисперсия оценивания (б), относительная погрешность оценивания (в)) при различных степенях перекрытия блоков

блоке. При полном перекрытии сдвигка блока в одном направлении относительно предыдущего положения составляет 1 пиксель. При размере блока  $8 \times 8$  степени перекрытия 75, 50 и 25 % образуются сдвигкой блока на 2, 4 и 6 пикселей соответственно.

По оси абсцисс отложены индексы изображений в базе (ИБ) TID2008 [10] (всего в базе 25 цветных тестовых изображений), каждому индексу соответствуют три оценки, полученные для различных цветовых компонент, обработанных раздельно. По оси ординат отложены соответственно модуль смещенности (большинство смещенностей (2) имеют положительные значения, рис. 1,а), дисперсия оценивания (рис. 1,б), относительная погрешность оценивания (рис. 1,в). Жирными штриховыми линиями на рис. 1, а и в показаны границы диапазона допустимых значений модулей смещенности и относительной погрешности оценивания, составляющие 20 % от истинного значения дисперсии шума [3] ( $\sigma_a^2 = 65$ ). Как видно из представленных данных, с изменением степени перекрытия блоков величина смещенности оценок дисперсии практически не изменяется и остается в требуемых пределах. Исключением является высокотекстурное изображение №13, для которого характерно значительное увеличение смещенности оценки дисперсии с уменьшением степени перекрытия блоков. В отличие от смещенности дисперсия оценивания существенно возрастает с уменьшением степени перекрытия блоков, однако поскольку основной вклад в приведенную ошибку оценивания вносит смещенность, величина относительной погрешности оценивания с изменением степени перекрытия блоков практически не изменяется и остается в допустимых пределах. Исключение составляет изображение №13, для которого наблюдается значительное увеличение относительной погрешности оценивания с уменьшением степени перекрытия блоков. Связано это с тем, что с уменьшением общего количества обрабатываемых блоков уменьшается и количество верно идентифицированных однородных блоков на изображении, от которого напрямую зависит точность полученной оценки дисперсии. Поскольку данное изображение исходно содержит малое число однородных блоков, при уменьшении степени перекрытия блоков число обрабатываемых однородных блоков стремительно уменьшается, результатом чего является заметное снижение точности оценивания дисперсии помех.

На рис. 2 представлены зависимости среднего времени работы программы и его СКО от индекса изображения в базе TID2008 (размер всех изображений одинаков –  $512 \times 384$  пикселя). Как видим, при

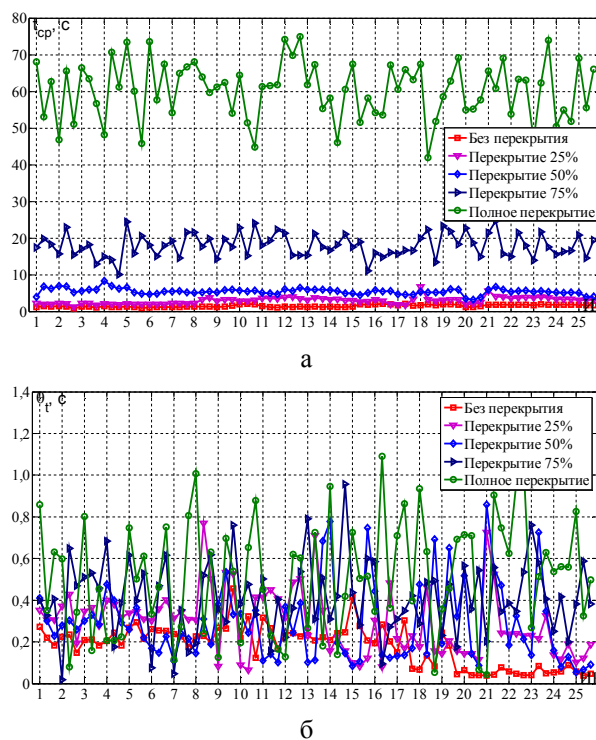


Рис. 2. Среднее время работы метода [9] (а) и его СКО (б) при различных степенях перекрытия блоков

использовании блоков с полным перекрытием среднее время работы программы (на ЭВМ с процессором Intel Core i5 2,66 ГГц и 4 ГБ оперативной памяти) составляет 60 секунд, в то время как при использовании блоков без перекрытия это время составляет приблизительно 1,5 секунды. Абсолютное значение СКО времени работы программы  $\theta_t$  слабо зависит от степени перекрытия блоков, однако величина  $\theta_t/t_{cp}$  демонстрирует тенденцию к уменьшению с увеличением степени перекрытия блоков и составляет порядка 0,13 при использовании блоков без перекрытия и порядка 0,02 в случае использования блоков с полным перекрытием. Такое поведение величины  $\theta_t/t_{cp}$  является вполне ожидаемым и подтверждает тот факт, что чем больше количество обрабатываемых блоков, тем более стабильной является работа рассматриваемого метода.

## Заключение

В статье рассмотрен один из возможных способов повышения быстродействия метода оценивания дисперсии аддитивных помех, основанного на анализе характеристик распределений ДКП коэффициентов. Данный способ заключается в уменьшении количества обрабатываемых блоков изображения за счет использования блоков с частичным перекрытием либо без перекрытия.

Показано, что при использовании блоков без перекрытия время, необходимое для получения

оценки дисперсии может быть снижено приблизительно в 40 раз по сравнению с базовой версией метода. При этом для низко- и среднетекстурных изображений точность оценивания дисперсии помех практически не изменяется.

Несколько иначе обстоит дело с высокотекстурными изображениями. Показано, что для таких изображений точность оценивания дисперсии помех существенно снижается при уменьшении степени перекрытия блоков, поэтому необходимо найти компромисс между точностью оценивания и скоростью обработки. Таким компромиссом может служить использование блоков с половинным перекрытием, позволяющее ускорить работу метода в среднем в 12 раз по сравнению с базовым вариантом при повышении относительной погрешности оценивания с 20 до 28 %.

### Литература

1. Wu, H. R. *An Overview of Perceptual Processing for Digital Pictures [Text]* / H. R. Wu, W. Lin, L. Karam // ICME: Proc. 2012. – Melbourne, Australia. – P. 113-120.
2. *Methods for Blind Estimation of the Variance of Mixed Noise and Their Performance Analysis [Text]* / S. Abramov, V. Zabrodina, V. Lukin, B. Vozel, K. Chehdi, J. Astola; Ed. Jan Awrejcewicz // *Numerical Analysis – Theory and Application*. – InTech, 2011. – P. 49 – 70.
3. *Digital adaptive robust algorithms for radar image filtering [Text]* / V. V. Lukin, V. P. Melnik, A. B. Pogrebniak, A. A. Zelensky, K. P. Saarinen, J. T. Astola // *Journal of Electronic Imaging*. – 1996. – No. 5(3). – P. 410-421.
4. *On required accuracy of mixed noise parameter estimation for image enhancement via denoising [Text]* / V. Abramova, S. Abramov, V. Lukin, K. Egiazarian, J. Astola // *EURASIP JIVP*. – 2014. – V. 2014, № 1. – P. 1-16.
5. Huber, P. J. *Robust Statistics [Text]* / P. J. Huber. – NY(USA) : John Wiley & Sons, 2004. – 308 p.
6. Kurz, T. H. *A Review Of Hyperspectral Imaging In Close Range Applications [Text]* / T. H. Kurz, S. J. Buckley // *XXIII ISPRS Congress: Proc. 2016*. – Prague, Czech Republic. – Vol. XLI-B5. – P. 865 – 870.
7. *Image Informative Maps for Estimating Noise Standard Deviation and Texture Parameters [Electronic resource]* / M. Uss, B. Vozel, V. Lukin, S. Abramov, I. Baryshev, K. Chehdi // *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing 2011*. DOI: 10.1155/2011/806516. Available at: <https://link.springer.com/article/10.1155/2011/806516>. – 23.06.2017.
8. Кожемякин, Р. А. *Фильтрация изображений, искаженных смесью сигнально-зависимых и сигнально-независимых помех [Текст]* / Р. А. Кожемякин, В. В. Абрамова, С. К. Абрамов // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2012. – №2(54). – С. 58 – 65.
9. Абрамова, В. В. *Многоэтапный автоматический метод оценивания дисперсии аддитивного шума с использованием детектора однородных участков на основе момента четвертого порядка [Текст]* / В. В. Абрамова, С. К. Абрамов, В. В. Лукин // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2013. – № 4(63). – С. 15 – 24.
10. *Tampere Image Database 2008 TID2008, version 1.0 [Электронный ресурс]*. – Режим доступа: <http://ponomarenko.info/tid2008.htm>. – 23.06.2017 г.

### References

1. Wu, H. R., Lin, W., Karam, L. *An Overview of Perceptual Processing for Digital Pictures*, Proc of ICME, Melbourne, Australia, 2012, pp. 113-120.
2. Abramov, S., Zabrodina, V., Lukin, V., Vozel, B., Chehdi, K. *Methods for Blind Estimation of the Variance of Mixed Noise and Their Performance Analysis, Numerical Analysis – Theory and Application*, InTech, 2011, pp. 49-70.
3. Lukin, V. V., Melnik, V. P., Pogrebniak, A. B., Zelensky, A. A., Saarinen, K. P., Astola, J. T. *Digital adaptive robust algorithms for radar image filtering, Journal of Electronic Imaging*, 1996, no. 5(3), pp. 410-421.
4. Abramova, V., Abramov, S., Lukin, V., Egiazarian, K., Astola, J. *On required accuracy of mixed noise parameter estimation for image enhancement via denoising. EURASIP JIVP*, 2014, vol. 2014, no. 1, pp. 1-16.
5. Huber, P. J. *Robust Statistics*. NY(USA), John Wiley & Sons Publ., 2004. 308 p.
6. Kurz, T. H., Buckley, S. L. *A Review Of Hyperspectral Imaging In Close Range Applications, XIII ISPRS Congress*, Prague, Czech Republic, vol. XLI-B5, pp. 865-870.
7. Uss, M., Vozel, B., Lukin, V., Abramov, S., Baryshev, I., Chehdi, K., *Image Informative Maps for Estimating Noise Standard Deviation and Texture Parameters, EURASIP Journal on Advances in Signal Processing 2011*, Article ID 806516, doi:10.1155/2011/806516. Available at: <https://link.springer.com/article/10.1155/2011/806516> (accessed 23.06.2017).
8. Kozhemyakin, R. A., Abramova, V. V., Abramov, S. K. *Fil'tratsiya izobrazhenii, iskazhenykh smes'yu signal'no-zavisimykh i signal'no-nezavisimykh pomekh [Filtering of images corrupted by mixed signal-dependent and signal-independent noise]. Radioelektronni i komp'uterni sistemi – Radioelectronic and computer systems*, 2012, no. 2(54), pp. 58 - 65.
9. Abramova, V. V., Abramov, S. K., Lukin, V. V. *Mногоэтапный автоматический метод оценивания дисперсии аддитивного шума с использованием детектора однородных участков на основе момента четвертого порядка [Multi-stage method for blind additive noise variance evaluation using homogeneous region detector based on fourth order moment]. Radio-*

*elektronni i komp'uterni sistemi – Radioelectronic and computer systems*, 2013, no. 4(63), pp. 15-24.

10. *Tampere Image Database 2008 TID2008, version 1.0*. Available at: <http://ponomarenko.info/tid2008.htm> (accessed 23.06.2017)

*Поступила в редакцію 17.05.2017, рассмотрена на редколлегии 12.06.2017*

## ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ПІДВИЩЕННЯ ШВИДКОДІЇ МЕТОДУ ОЦІНЮВАННЯ ДИСПЕРСІЇ ЗАВАД НА ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕННЯХ

*В. В. Абрамова, С. К. Абрамов, В. В. Лукін, Г. А. Проскура*

Розглянуто метод автоматичного оцінювання дисперсії завад, який базується на аналізі характеристик розподілів коефіцієнтів дискретного косинусного перетворення. Досліджено можливість підвищення швидкодії даного методу за рахунок зменшення кількості блоків, що підлягають обробці. На основі даних чисельного моделювання, отриманих для великої бази тестових зображень, показано, що при використанні блоків з частковим перекриттям або без перекриття час, необхідний для отримання оцінки дисперсії завад, може бути зменшений в десятки разів, при цьому для низько- та середньо текстурних зображень точність оцінювання знижується незначно.

**Ключові слова:** цифрова обробка зображень, адитивні завади, автоматичне оцінювання дисперсії завад, підвищення швидкодії.

## EXPLORATION OF POSSIBILITY TO INCREASE PERFORMANCE OF METHOD FOR NOISE VARIANCE EVALUATION IN DIGITAL IMAGES

*V. V. Abramova, S. K. Abramov, V. V. Lukin, G. A. Proskura*

The method for blind noise variance evaluation based on analysis of distributions of discrete cosine transform coefficients is considered. The possibility to improve computational efficiency of this method by means of decreasing number of processed blocks is explored. Numerical simulation results obtained for large image database have shown that if partly overlapping or non-overlapping blocks are used it is possible to essentially decrease time needed for obtaining noise variance estimates wherein for low- and medium textured images the decreasing of noise variance estimation accuracy is negligible.

**Keywords:** digital image processing, additive noise, blind noise variance estimation, increasing performance.

**Абрамова Вікторія Валеріївна** – канд. техн. наук, старший преподаватель кафедри приёма, передачі и обробки сигналів, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, e-mail: v.abramova@khai.edu.

**Абрамов Сергей Клавдиевич** – канд. техн. наук, доцент, докторант кафедри приёма, передачі и обробки сигналів, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, e-mail: s.abramov@khai.edu.

**Лукін Владимир Васильевич** – д-р техн. наук, проф., заведуючий кафедри приёма, передачі и обробки сигналів, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, e-mail: lukin@ai.kharkov.com.

**Проскура Галина Анатольевна** – канд. техн. наук, доцент кафедри приёма, передачі и обробки сигналів, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, e-mail: g.proskura@khai.edu.

**Abramova Victoriya Valerievna** – Candidate of Technical Science, Senior Professor of Dept. of Receivers, Transmitters and Signal Processing, National Aerospace University named after N. Ye. Zhukovsky “KhAI”, Kharkov, Ukraine, e-mail: v.abramova@khai.edu.

**Abramov Sergey Klavdievich** – Candidate of Technical Science, Assistant Professor of Dept. of Receivers, Transmitters and Signal Processing, National Aerospace University named after N. Ye. Zhukovsky “KhAI”, Kharkov, Ukraine, e-mail: s.abramov@khai.edu.

**Lukin Vladimir Vasilievich** – Doctor of Technical Science, Professor, Chief of Dept. of Receivers, Transmitters and Signal Processing, National Aerospace University named after N. Ye. Zhukovsky “KhAI”, Kharkov, Ukraine, e-mail: lukin@ai.kharkov.com.

**Proskura Galina Anatolievna** – Candidate of Technical Science, Assistant Professor of Dept. of Receivers, Transmitters and Signal Processing, National Aerospace University named after N. Ye. Zhukovsky “KhAI”, Kharkov, Ukraine, e-mail: g.proskura@khai.edu.