

УДК 621.3:681.34

В. В. АБРАМОВА, С. К. АБРАМОВ, В. В. ЛУКИН

*Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Украина***МНОГОЭТАПНЫЙ АВТОМАТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОЦЕНИВАНИЯ ДИСПЕРСИИ АДДИТИВНОГО ШУМА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДЕТЕКТОРА ОДНОРОДНЫХ УЧАСТКОВ НА ОСНОВЕ МОМЕНТА ЧЕТВЕРТОГО ПОРЯДКА**

Предложен метод автоматического оценивания дисперсии аддитивных помех, использующий детектор однородных участков на основе момента четвертого порядка. В методе применена итеративная процедура оценивания дисперсии помех с коррекцией карты однородных областей на каждой итерации. Проведен сравнительный анализ результатов оценивания дисперсии шума, полученных предложенным методом и ранее разработанными методами, на изображениях из нескольких известных баз. Показано, что в большинстве ситуаций предложенный метод обеспечивает наилучшую точность оценивания, в том числе и для высокотекстурных изображений.

Ключевые слова: цифровая обработка изображений, аддитивные помехи, автоматическое оценивание дисперсии помех, детектирование однородных областей.

Введение

В современном мире основным видом представления информации в системах, взаимодействующих с человеком, являются изображения, поскольку это наиболее естественный и удобный способ. Это определяет необходимость наличия в составе таких информационных систем отдельной подсистемы, ответственной за формирование, обработку и хранение изображений [1-3].

Формируемые изображения могут использоваться как для непосредственной визуализации, так и для автоматического анализа с целью получения какой-либо дополнительной информации, представляющей интерес для пользователя [4, 5]. Например, одной из тенденций в современных цифровых фотографических системах является получение оценки визуального качества изображения с последующей выдачей рекомендаций пользователю относительно целесообразности проведения повторной съемки при других параметрах или другом ракурсе [1].

Отдельный интерес представляют системы, проводящие обработку изображений в полностью автоматическом режиме. Такие системы незаменимы при анализе больших объемов данных, формируемых, например, гиперспектральными спутниковыми системами дистанционного зондирования [3]. В таких системах один снимок может содержать от нескольких сотен до тысячи компонентных изображений, соответствующих различным спектральным каналам. Оперативно проанализировать такие объемы информации без привлечения автоматических систем просто невозможно.

В любом случае, на первом этапе обработки перед визуализацией изображения или применением

процедур обработки с целью улучшения характеристик изображения либо извлечения какой-либо дополнительной информации желательно получить оценку качества первичного изображения [1, 6].

Одной из основных характеристик качества изображений, прямо или косвенной учитываемой в большинстве метрик визуального качества [6], является интенсивность присутствующих на изображении помех, характеризующая их дисперсией.

Поскольку дисперсия зависит от многих факторов, как внутренних по отношению к аппаратуре формирования изображений, так и внешних, ее величина на момент обработки, как правило, неизвестна и ее необходимо оценивать непосредственно по обрабатываемому изображению [7].

Постановка задачи исследования

В случае систем, формирующих изображения в оптическом диапазоне, общепринятым считается использование аддитивной гауссовой модели помех [8], а благодаря использованию соответствующих гомоморфных преобразований [8, 9] к этой модели можно свести и более сложные ситуации присутствия сигнально-зависимого шума (мультипликативного, пуассоновского) или смешанного (пуассоновского и аддитивного). Более того, в случае, когда изображение искажено сигнально-зависимым либо смешанным шумом, в пределах одного кластера (группы точек с приблизительно одинаковой интенсивностью) шум также может считаться аддитивным [10].

Для оценивания дисперсии аддитивного шума предложено множество методов, работающих в пространственной [11, 12] и спектральной областях [13 – 17].

Методы, работающие в пространственной области, основываются на предположении, что блоки определенного размера заполняют изображение и среди них есть набор блоков, принадлежащих однородным участкам. Локальные оценки дисперсии шума для этих блоков достаточно близки к истинному значению. Путем совместной обработки «нормальных» локальных оценок может быть получено значение результирующей оценки дисперсии. Основная проблема при использовании методов оценивания в пространственной области заключается в выделении группы «нормальных» оценок, соответствующих однородным участкам изображения, и устранении аномальных оценок, соответствующих участкам, содержащим границы и текстуру.

В основе большинства методов, работающих в спектральной области, лежит идея о том, что после применения декоррелирующего преобразования энергия, соответствующая информационной составляющей изображения, концентрируется в относительно небольшом числе низкочастотных спектральных компонент, в то время как энергия, соответствующая шуму, равномерно распределяется по всем спектральным компонентам. Таким образом, величина энергии, сосредоточенной в высокочастотных спектральных компонентах, определяется, главным образом, характеристиками шума, присутствующего на данном изображении. Следовательно, обработав тем или иным образом высокочастотные спектральные коэффициенты (ВЧСК), можно получить информацию о характеристиках (дисперсии) помех на данном изображении. В качестве декоррелирующих могут применяться различные ортогональные преобразования, например, дискретное косинусное (ДКП) [13 – 16] или вейвлет-преобразования (ВП) [17].

Если участок изображения содержит границу либо текстуру, то высокочастотные спектральные коэффициенты вместе с энергией шума могут содержать существенную часть энергии информационной составляющей изображения, в связи с чем при обработке ВЧСК возможно получение завышенных оценок дисперсии помех. Если число таких участков достаточно велико, то существует большая вероятность того, что и для изображения в целом оценка дисперсии шума также окажется существенно завышенной. Следовательно, даже для методов оценивания дисперсии, работающих в спектральной области, целесообразно проводить предварительный отсев неоднородных участков.

Одним из лучших методов оценивания дисперсии помех в спектральной области является метод [13], основанный на анализе характеристик распределений ДКП коэффициентов для различных пространственных частот. В качестве оценки среднеквадратического отклонения (СКО) шума принима-

ется медиана абсолютных медианных отклонений (АМО) ДКП коэффициентов для тех пространственных частот, для которых закон распределения близок к гауссову.

Как показано в [13], точность оценивания может быть существенно повышена, если при анализе рассматриваются не все блоки изображения, а только принадлежащие однородным участкам, для определения которых используются результаты предварительной сегментации, описанной в [18]. На сегодняшний день этот метод сегментации является одним из лучших и особо удобен в использовании, поскольку не требует априорных сведений о типе и характеристиках помех на изображении.

На рис. 1, а приведено высокотекстурное тестовое изображение № 13 (красная компонента) из базы TID2008 [19], искаженное аддитивным гауссовым шумом с дисперсией 65. На рис.1,б приведена соответствующая ему «идеальная» карта однородных участков (однородные участки показаны серым цветом, неоднородные – черным), полученная в блоках 8x8. При получении «идеальной» карты однородными считались участки, для которых выполнялось условие:

$$\left| \sigma_{\text{лок}k}^2 - \sigma_{\text{ист}}^2 \right| \leq 3\sigma, \quad (1)$$

где $\sigma_{\text{лок}k}^2$ – локальная дисперсия в блоке, $k = \overline{1, B}$, B – общее количество блоков; $\sigma_{\text{ист}}^2$ – истинная дисперсия шума; σ – теоретическое СКО оценивание дисперсии в блоках конечного размера

$$\sigma = \sqrt{2\sigma_{\text{ист}}^2 / (N \cdot N)}, \quad (2)$$

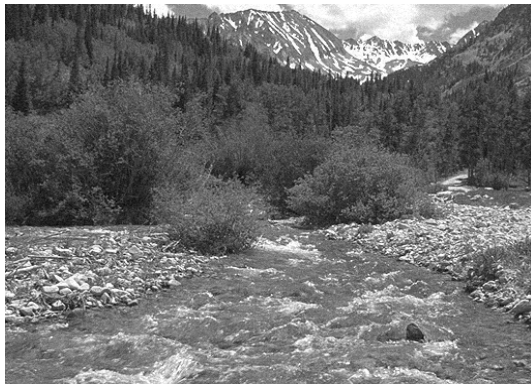
где N – размер блока ($N = 8$).

На рис. 1,в приведена карта однородных областей, полученная по изображению, сегментированному при помощи метода [18]. Как видим, однородные участки детектированы достаточно хорошо, однако при этом значительное количество неоднородных участков также сочтено однородными, что впоследствии может приводить к существенному завышению результирующей оценки дисперсии, получаемой методом [13] ($\hat{\sigma}_a^2 = 104,89$).

Целью данной работы является повышение точности оценивания дисперсии аддитивных помех на высокотекстурных изображениях за счет усовершенствования детектора однородных участков и применения итеративной процедуры оценивания.

Описание предлагаемого метода оценивания дисперсии аддитивных помех

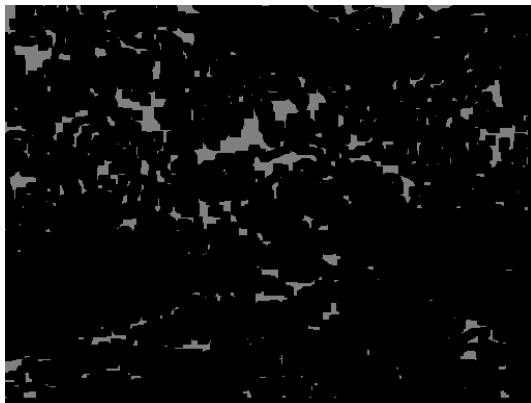
Рассмотрим вначале предлагаемый детектор блоков, принадлежащих однородным участкам изо-



а



б



в

Рис. 1. Зашумленное ($\sigma_a^2 = 65$) тестовое изображение № 13 (а) из базы TID2008 и карты однородных участков: «идеальная» (б) и построенная по изображению, сегментированному методом [18] (в)

бражения. Поскольку на таких участках присутствует только шум, одним из ключевых отличий, которые можно использовать для их детектирования, является гауссовость распределения отсчетов изображения в блоке. В нашем случае основными требованиями к тесту на гауссовость являются возможность его применения в автоматическом режиме без каких-либо априорных сведений о параметрах шума и изображения, а также высокая чувствительность к присутствию неоднородностей в блоке изображения. В работе [20] показано, что в качестве такого индикатора можно использовать куртозис, рассчи-

тываемый как отношение оценок центральных моментов четвертого и второго порядка. Неоднородность участка определяется по превышению величины куртозиса определенного порога. Такой детектор хорошо отсеивает блоки, содержащие границы и малоразмерные объекты, однако на текстурных участках его эффективность снижается. Это связано с тем, что довольно часто текстурные участки имеют гауссо-подобное распределение, и хотя оценки обоих моментов оказываются существенно завышенными, их отношение может оставаться практически таким же, как и для однородных участков.

В связи с этим в качестве индикатора гауссовости предлагается использовать модифицированный куртозис, в котором локальная оценка центрального момента второго порядка заменена на оценку дисперсии помех по всему изображению. Поскольку эта оценка рассчитывается с учетом результатов детектирования, появляется необходимость в применении двухэтапной процедуры:

- 1) предварительное детектирование однородных участков изображения;
- 2) применение итеративной процедуры оценивания дисперсии с коррекцией количества и положений однородных участков.

Предварительное детектирование однородных участков изображения осуществляется согласно следующему алгоритму.

1. Разбиение изображения на перекрывающиеся блоки размера $N \times N$. В данном случае использовались блоки размером 8×8 .
2. Расчет оценки среднего в блоке:

$$\hat{I}_{\text{блок } k} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N I_{ij} / (N \times N),$$

где k – номер блока. Для борьбы с эффектом клипирования [7] рекомендуется принимать к рассмотрению только те блоки, для которых $30 \leq \hat{I}_{\text{блок } k} \leq 225$.

3. Выполнение двумерного ДКП в блоке.
4. Получение оценок 4-го центрального момента и дисперсии для каждого блока в пространственной и спектральной областях:

$$\hat{\mu}_{4k}^{\text{Пр}} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (I_{ij} - \hat{I}_{\text{блок } k})^4 / (N \times N),$$

$$\hat{\sigma}_{\text{Пр } k}^2 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (I_{ij} - \hat{I}_{\text{блок } k})^2 / (N \times N - 1),$$

$$\hat{\mu}_{4k}^{\text{Сп}} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (D_{k_{ij}} - D_{k_{11}})^4 / (N \times N), \quad i \neq 1 \wedge j \neq 1$$

$$\hat{\sigma}_{\text{Сп } k}^2 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (D_{k_{ij}} - D_{k_{11}})^2 / (N \times N - 1), \quad i \neq 1 \wedge j \neq 1,$$

где $\hat{\mu}_{4k}^{\text{Пр}}$, $\hat{\mu}_{4k}^{\text{Сп}}$ – локальные оценки 4-го центрального момента в пространственной и спектральной областях; $\hat{\sigma}_{\text{Пр}k}^2$, $\hat{\sigma}_{\text{Сп}k}^2$ – локальные оценки дисперсии в пространственной и спектральной областях; $D_{k_{ij}}$ – i,j-й ДКП коэффициент в k-ом блоке.

5. Оценивание мод распределений локальных оценок дисперсии в пространственной ($\hat{\sigma}_{\text{Прmode}}^2$) и спектральной ($\hat{\sigma}_{\text{Спmode}}^2$) областях при помощи интерквантильной оценки [12].

6. Получение локальных оценок модифицированного куртосиса в пространственной ($\hat{K}_{\text{Пр}k}$) и спектральной ($\hat{K}_{\text{Сп}k}$) областях:

$$\hat{K}_{\text{Пр}k} = \sqrt{\hat{\mu}_{4k}^{\text{Пр}} / \hat{\sigma}_{\text{Прmode}}^4},$$

$$\hat{K}_{\text{Сп}k} = \sqrt{\hat{\mu}_{4k}^{\text{Сп}} / \hat{\sigma}_{\text{Спmode}}^4}.$$

7. Оценивание мод распределений локальных оценок модифицированного куртосиса в пространственной ($\hat{K}_{\text{Прmode}}$) и спектральной ($\hat{K}_{\text{Спmode}}$) областях при помощи интерквантильной оценки.

8. Вычисление корректирующего коэффициента kc:

$$kc = \begin{cases} (\hat{K}_{\text{Прmode}} / \hat{K}_{\text{Спmode}})^2, & \text{если } \hat{K}_{\text{Прmode}} \leq \hat{K}_{\text{Спmode}}, \\ (\hat{K}_{\text{Спmode}} / \hat{K}_{\text{Прmode}})^2, & \text{если } \hat{K}_{\text{Спmode}} < \hat{K}_{\text{Прmode}}. \end{cases}$$

9. Если для данного блока выполняются условия:

$$\begin{cases} \sqrt{\hat{\mu}_{4k}^{\text{Пр}} / (\hat{\sigma}_{\text{Прmode}}^2 \cdot kc)^2} \leq Th_1, \\ \sqrt{\hat{\mu}_{4k}^{\text{Сп}} / (\hat{\sigma}_{\text{Спmode}}^2 \cdot kc)^2} \leq Th_1, \end{cases}$$

блок признается однородным и принимается к дальнейшему рассмотрению. Коэффициент kc предназначен для обеспечения дополнительной «защиты» от ложного детектирования однородных участков на высокотекстурных изображениях. Как правило, для низко- и среднетекстурных изображений $\hat{K}_{\text{Прmode}} \approx \hat{K}_{\text{Спmode}}$, тогда $kc \approx 1$ и его влияние практически неощутимо. Однако для высокотекстурных изображений значения $\hat{K}_{\text{Прmode}}$ и $\hat{K}_{\text{Спmode}}$ могут существенно отличаться. В этом случае $kc < 1$ и условие однородности становится жестче.

10. Для блоков, принадлежащих однородным участкам, применяется метод [13] и вычисляется результирующая оценка дисперсии шума $\hat{\sigma}_{a1}^2$.

На рис. 2 приведена предварительная (полу-

ченная в результате выполнения п. 1-9 алгоритма) карта однородных областей для изображения № 13 из базы TID2008 (красная компонента).

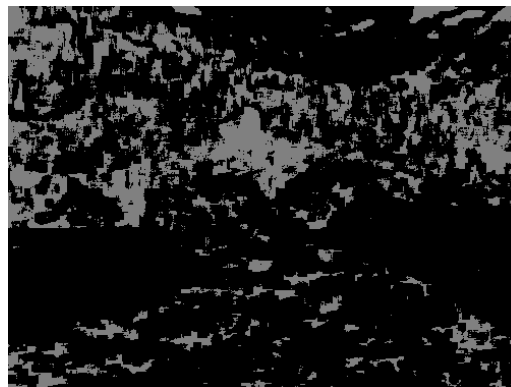


Рис. 2. Предварительная карта однородных областей для зашумленного ($\sigma_a^2 = 65$) тестового изображения № 13 из базы TID2008 (серый – однородные области, черный – неоднородные)

Из сравнения рис. 1,б и 2 видно, что достаточно большое количество неоднородных участков распознано, как однородные. Связано это с тем, что в силу высокой текстурности данного изображения предварительные оценки дисперсии оказались существенно завышенными ($\hat{\sigma}_{\text{Прmode}}^2 = 245$ и $\hat{\sigma}_{\text{Спmode}}^2 = 245,75$ при истинной дисперсии шума $\sigma_a^2 = 65$). Поэтому для части неоднородных блоков значения оценок $\hat{K}_{\text{Пр}k}$ и $\hat{K}_{\text{Сп}k}$ оказались заниженными и блоки не были отсеяны при сравнении с порогом. После выполнения шага 10 была получена результирующая оценка дисперсии шума $\hat{\sigma}_{a1}^2 = 108,66$, которая существенно менее завышена по сравнению с σ_a^2 , чем значения предварительных оценок, однако значительно превышает верхнюю границу допустимых пределов точности оценивания дисперсии аддитивного шума (значение оценки дисперсии должно составлять $0,8 \dots 1,2 \sigma_a^2$ [21, 22], при $\sigma_a^2 = 65$ диапазон допустимых значений оценок дисперсии составляет $52 \dots 78$). Для получения более точной карты однородных областей и менее смещенной оценки дисперсии шума целесообразно применять итеративную процедуру оценивания дисперсии шума с уточнением карты однородных областей на каждой итерации. Для этого предлагается следующий алгоритм.

1. $\hat{\sigma}_{\text{предв}}^2 = \hat{\sigma}_{\text{Спmode}}^2$. Использование в качестве предварительной оценки дисперсии шума, полученной в спектральной области, обусловлено тем, что метод [13], применяемый для получения скорректи-

рованной оценки $\hat{\sigma}_{\text{скорр}}^2$, работает в спектральной области. В принципе, поскольку в большинстве практических ситуаций $\hat{\sigma}_{\text{Сп mode}}^2 \approx \hat{\sigma}_{\text{Пр mode}}^2$, может использоваться и оценка, полученная в пространственной области.

$$2. \hat{\sigma}_{\text{скорр}}^2 = \hat{\sigma}_{\text{ал}}^2.$$

3. Если выполняется условие:

$$\left| \hat{\sigma}_{\text{скорр}}^2 - \hat{\sigma}_{\text{предв}}^2 \right| / \hat{\sigma}_{\text{скорр}}^2 \geq \text{Th}_2,$$

то переходим к п.4, в противном случае в качестве результирующей оценки дисперсии шума на данном изображении принимается значение скорректированной оценки дисперсии на текущей итерации

$$\hat{\sigma}_{\text{рез}}^2 = \hat{\sigma}_{\text{скорр}}^2.$$

4. Повторный расчет локальных оценок модифицированного куртозиса в пространственной ($\hat{K}_{\text{Прк}}$) и спектральной ($\hat{K}_{\text{Спк}}$) областях:

$$\hat{K}_{\text{Прк}} = \sqrt{\hat{\mu}_{4k}^{\text{Пр}} / \hat{\sigma}_{\text{скорр}}^4},$$

$$\hat{K}_{\text{Спк}} = \sqrt{\hat{\mu}_{4k}^{\text{Сп}} / \hat{\sigma}_{\text{скорр}}^4}.$$

5. Проверка условий однородности блока:

$$\begin{cases} \hat{K}_{\text{Прк}} \leq \text{Th}_1, \\ \hat{K}_{\text{Спк}} \leq \text{Th}_1. \end{cases}$$

6. Вычисление результирующей оценки дисперсии $\hat{\sigma}_{\text{рез}}^2$ при помощи метода [13] с использованием блоков, принадлежащих однородным участкам, детектированным в п.5.

7. Переприсвоение значений предварительной и скорректированной оценок дисперсии:

$$\hat{\sigma}_{\text{предв}}^2 = \hat{\sigma}_{\text{скорр}}^2, \quad \hat{\sigma}_{\text{скорр}}^2 = \hat{\sigma}_{\text{рез}}^2.$$

8. Переход к п.3.

На рис. 3 представлена результирующая карта однородных областей для изображения № 13 из базы TID2008 (красная компонента), полученная в результате выполнения двух итераций алгоритма.

Данная карта достаточно близка к «истинной» (см. рис. 1,б), хотя и содержит некоторое количество неверно идентифицированных блоков. Оценка дисперсии шума, полученная с использованием этой карты ($\hat{\sigma}_{\text{рез}}^2 = 74,4$), по-прежнему остается несколько завышенной по сравнению с истинным значением, но, тем не менее, отвечает установленным требованиям к точности оценивания.

Весьма существенное влияние на эффективность работы предлагаемого метода оказывает выбор порогов. Для их определения было проведено специальное исследование, в результате которого

были определены следующие рекомендуемые значения: $\text{Th}_1 = 2,3$; $\text{Th}_2 = 0,15$. При таком выборе порогов для большинства ситуаций обеспечиваются наилучшие результаты по точности оценивания.



Рис. 3. Результирующая карта однородных областей для зашумленного ($\sigma_a^2 = 65$) тестового изображения № 13 из базы TID2008 (серый – однородные области, черный – неоднородные)

Анализ результатов

На рис. 4 приведены результаты оценивания дисперсии аддитивного шума на изображениях из базы TID2008 (красная компонента) при использовании различных методов. Для синей и зеленой цветовой компонент результаты аналогичны, поэтому в статье не приведены. Штриховыми линиями на рис. 4 показаны границы диапазона допустимых (приемлемых) значений полученных оценок.

Как видим, метод [17] обеспечивает завышенные оценки для всех изображений, особенно для высокотекстурных (№ 1, 5, 8, 13, 18). Исключение составляет изображение № 20, на красной и зеленой цветовой компонентах которого ярко проявляется эффект клиппирования. Очевидно, что занижение оценок дисперсии шума на данном изображении характерно для всех рассматриваемых методов, кроме предлагаемого, в котором влияние эффекта клиппирования на точность оценивания дисперсии устраняется путем отсека «подозрительных» блоков по уровню среднего.

Характер оценок, обеспечиваемых методом [14] схож с поведением метода [17], однако значения оценок, полученных этим методом, несколько менее смещены относительно истинного значения дисперсии шума.

В отличие от предыдущих, метод [15] обнаруживает тенденцию к занижению значений оценок дисперсии, даже для изображений с высоким содержанием текстуры. При обработке изображений из базы TID2008 метод [15] демонстрирует очень низкую точность – всего 3 оценки попали в установленные пределы.

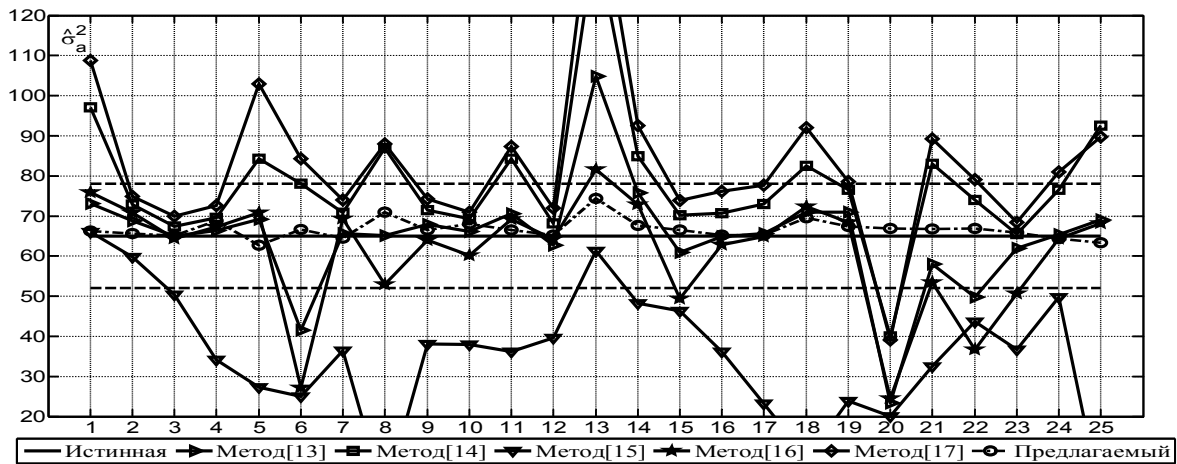


Рис. 4. Результаты оценивания дисперсии аддитивного шума на изображениях из базы TID2008 (красная компонента) при использовании различных методов

Оценки дисперсии шума, полученные методом [16] более точны по сравнению с методами, рассмотренными выше. В установленные пределы не попало всего 6 оценок: для изображений № 6, 13, 15, 20, 22 и 23. Что касается изображений № 6 и 20, то существенное занижение оценок дисперсии шума для них связано с влиянием эффекта клиппирования (на изображении № 6 также присутствуют клиппированные области, однако в меньшем количестве, чем на изображении № 20, поэтому это влияние проявляется не для всех методов), существенное завышение оценки дисперсии для изображения № 13 связано с наличием на нем большого количества текстурных участков.

Похожий характер оценок демонстрирует метод [13] с той лишь разницей, что в большинстве ситуаций значения его оценок несколько ближе к истинному по сравнению с методом [16], и всего 4 оценки не попали в требуемые пределы (для изображений № 6, 13, 20 и 22).

Как видим, предлагаемый метод обеспечивает наилучшую точность среди всех рассмотренных. Все полученные оценки попадают в требуемые пределы. Для некоторых высокотекстурных изображений (8, 13, 18) полученные оценки дисперсии несколько завышены, однако и они соответствуют заданным требованиям к точности оценивания.

В табл. 1 приведены усредненные по базе TID2008 (25 изображений, 3 цветовых компоненты, итого 75 изображений) значения полученных оценок дисперсии и их среднеквадратические отклонения (СКО) для рассмотренных методов. В этой же таблице приведены значения медиан и абсолютных медианных отклонений (АМО) полученных оценок. Эти показатели более робастны по отношению к выбросам, поэтому для получения общего представления о точности метода при анализе удобнее ис-

пользовать именно их. Данные, приведенные в табл. 1, позволяют получить представление о робастности метода. Под робастностью в данном случае понимается способность метода обеспечивать точные и устойчивые результаты при оценивании дисперсии помех на изображениях различной степени сложности. В этом плане наиболее эффективным следует считать метод, для которого усредненное по базе значение полученных оценок и их медиана наиболее близки к истинному значению дисперсии шума, а СКО и АМО оценок минимальны.

Данные, представленные в табл. 1, подтверждают выводы, сделанные выше. Наиболее близкие к истинному значению оценки дисперсии обеспечивают методы [16], [13] и предлагаемый. Причем, значения медиан оценок дисперсии для методов [16] и [13] даже немного ближе к истинному, чем у предлагаемого метода, однако значения АМО этих оценок существенно выше. Следовательно, по результатам тестирования на изображениях из базы TID2008 предлагаемый метод обеспечивает наилучшие результаты оценивания дисперсии.

Для проведения сравнительного анализа точности предлагаемого метода с ранее разработанными были также использованы изображения из базы,

Таблица 1
Усредненные по базе TID2008 характеристики оценок дисперсии для различных методов

Метод	Среднее	СКО	Медиана	АМО
[13]	65,93	12,40	66,86	3,35
[14]	78,29	16,08	76,14	6,82
[15]	35,85	18,25	36,41	10,14
[16]	62,48	13,49	66,36	9,87
[17]	83,59	19,73	79,03	8,06
Предл.	66,72	3,28	66,45	1,21

Таблица 2
Усредненные по базе, предоставленной авторами метода [16], характеристики оценок дисперсии для различных методов

Метод	Среднее	СКО	Медиана	АМО
[13]	65,93	10,27	28,81	6,26
[14]	38,38	8,74	38,12	4,89
[15]	26,81	16,03	22,55	8,49
[16]	28,12	3,68	27,46	2,79
[17]	70,98	29,47	67,86	22,26
Предл.	26,63	2,44	25,83	1,14

используемой в [16], любезно предоставленные нам авторами метода [16]. Это 8-битные изображения размером 469x704 пикселя, пиктограммы которых приведены на рис. 5. Изображения из этой базы интересны тем, что на них представлены реальные сцены, практически все изображения содержат большое количество текстур и мелких деталей и являются достаточно сложными для автоматических методов оценивания дисперсии помех.

На изображения, представленные на рис. 5, накладывался гауссов аддитивный шум с дисперсией 25. Результаты оценивания дисперсии рассматриваемыми методами показаны на рис. 6. Штрихованными линиями показаны границы диапазона допустимых значений полученных оценок дисперсии. При истинном значении дисперсии шума, равном 25, диапазон допустимых значений полученных оценок составляет 20...30.

В табл. 2 приведены усредненные по базе характеристики оценок дисперсии, полученных при помощи различных методов. Как и в предыдущем случае, при анализе точности методов опираться будем, главным образом, на значения медианы и АМО полученных оценок.

Как видим, методы [14] и [17] как и при работе с базой TID2008 преимущественно обеспечивают существенно завышенные оценки, однако в данном случае метод [14] демонстрирует заметно более высокую точность по сравнению с методом [17]. Это

подтверждается и данными из табл. 2.

Что касается метода [15], то на изображениях из этой базы, он обеспечивает более высокую точность оценивания по сравнению с базой TID2008. Среднее значение полученных оценок и их медиана соответствуют установленным требованиям к точности оценивания (см. табл. 2), однако СКО и АМО оценок дисперсии, полученных с использованием этого метода, по-прежнему остаются достаточно высокими. Это также хорошо заметно при анализе графического представления результатов оценивания для этого метода (см. рис. 6). Если для изображений stairs и hose значения полученных оценок практически равны истинному значению дисперсии шума, то для остальных изображений они существенно завышены либо занижены.

При обработке изображений из этой базы метод [13] демонстрирует менее высокую точность по сравнению с базой TID2008. Для изображений traffic, stairs, building1 и bag полученные оценки дисперсии оказались существенно завышенными, за счет этого завышенной оказалось и усредненное по базе значение полученной оценки дисперсии шума. Тем не менее, медиана полученных оценок попадает в требуемые пределы, при этом СКО и АМО оценок ниже по сравнению с методами [15] и [17].

Согласно данным из табл. 2, метод [16] обеспечивает неплохую точность оценивания: усредненное значение оценок и их медиана попадают в установленные пределы и при этом близки к истинному значению дисперсии, несмотря на то, что в некоторых ситуациях оценки существенно завышены (в частности, для изображений computer и building1).

Предлагаемый метод демонстрирует наилучшую точность оценивания дисперсии помех среди всех рассмотренных методов. Практически все оценки отвечают установленным требованиям к точности оценивания, и только две из них (для изображений lawn и leaves) немного превосходят верхнюю границу. Как видим (см. табл. 2), среднее значение и медиана полученных оценок наиболее близ-

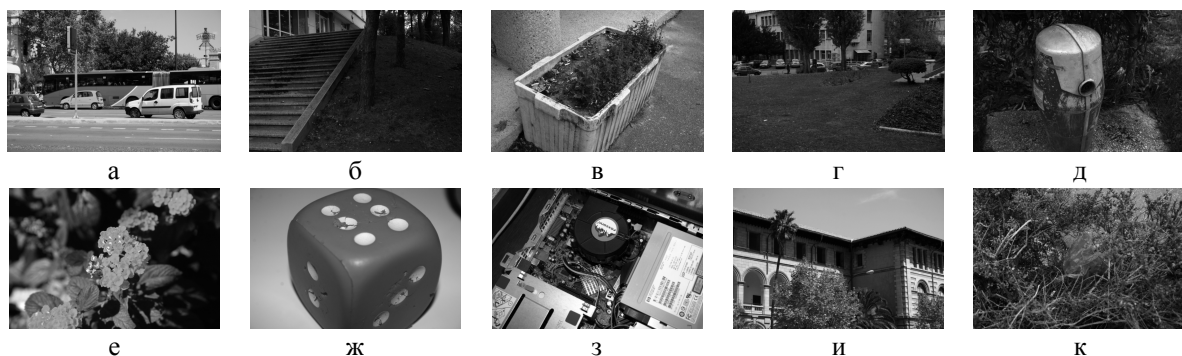


Рис. 5. Изображения из базы, предоставленной авторами метода [16]: traffic (а), stairs (б), leaves (в), lawn (г), hose (д), flowers2 (е), dice (ж), computer (з), building1 (и), bag (к)

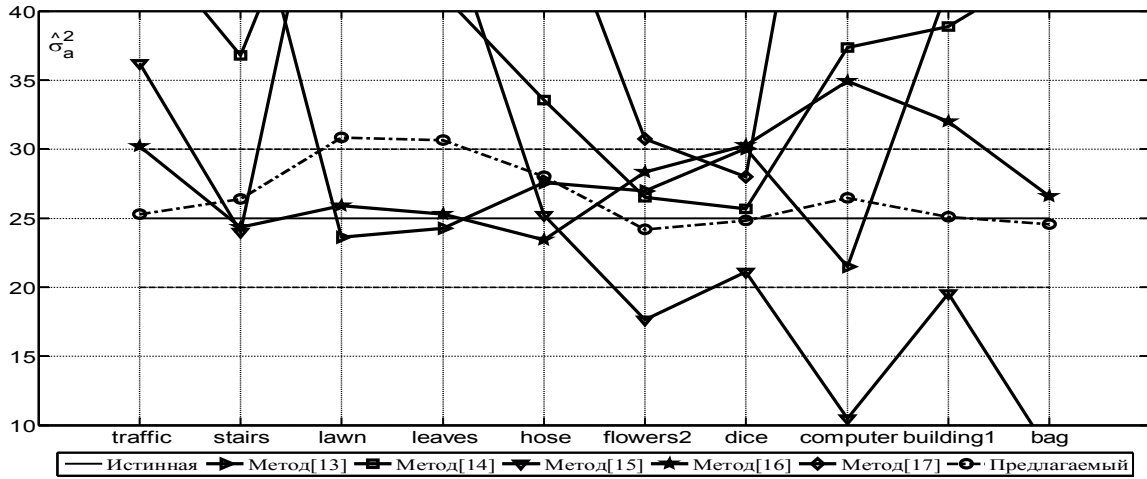


Рис. 6. Результаты оценивания дисперсии аддитивного шума на изображениях, предоставленных авторами метода [16], при использовании различных методов

ки к истинному значению дисперсии шума, СКО и АМО оценок малы и являются наименьшими среди всех рассматриваемых методов.

Следует отметить, что предлагаемый метод помимо непосредственно оценивания дисперсии может также использоваться для детектирования однородных участков на изображениях, искаженных аддитивными помехами. На рис. 7 приведены карты однородных областей для изображений traffic

(рис. 7, а, г, ж), dice (рис. 7, б, д, з) и bag (рис. 7, в, е, и). На рис. 7, а – в представлены «истинные» карты однородных областей, полученные согласно методике, описанной в начале данной статьи; на рис. 7, г – е - карты, полученные по изображениям, сегментированным с использованием метода [18]; на рис. 7, ж – и – результирующие карты однородных областей, полученные предлагаемым методом. Как видим, предлагаемый детектор

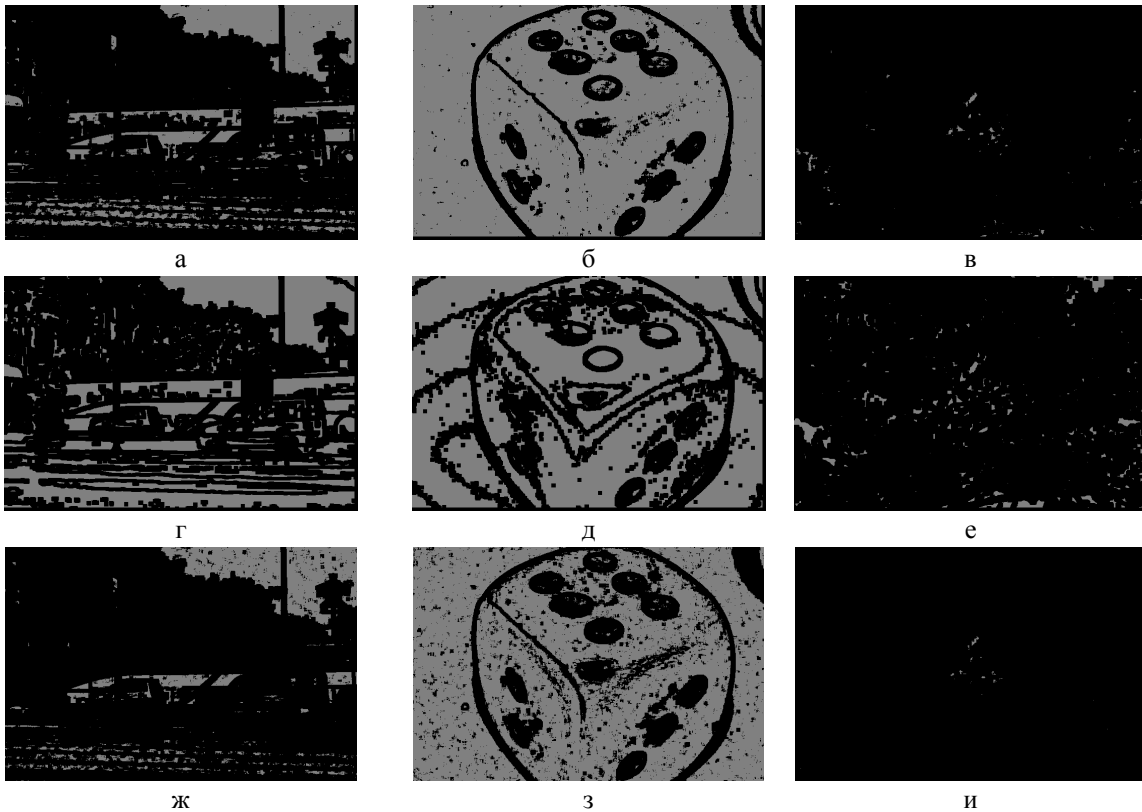


Рис. 7. Карты однородных областей для изображений traffic (а, г, ж), dice (б, д, з) и bag (в, е, и): «истинные» (а – в), полученные по изображениям, сегментированным методом [18] (г – е), полученные предлагаемым методом (ж – и) (серый – однородные области, черный – неоднородные области)

оказался достаточно «осторожным» и проигнорировал часть участков, являющихся однородными согласно «истинной» карте, в отличие от детектора на основе метода [18], который при обработке изображений со средним и высоким содержанием текстуры (traffic и bag) часть неоднородных участков ложно идентифицировал как однородные. Для методов оценивания дисперсии помех излишняя «осторожность» детектора, проявляющаяся в игнорировании некоторых однородных участков, как правило, менее опасна, по сравнению со случаем, когда неоднородные участки идентифицируются как однородные, поскольку именно последний вариант приводит к завышению результирующей оценки. Следует отметить, что используемая методика получения «истинных» карт является достаточно специфической и позволяет сравнивать детекторы однородных участков, главным образом, по их пригодности для использования в методах оценивания дисперсии помех. Как видим, согласно такому критерию, предлагаемый детектор является более эффективным.

Для использования в других приложениях и при выборе других критериев качества может потребоваться большая или меньшая чувствительность детектора. Предлагаемый метод обладает неплохим потенциалом в этом плане, поскольку его чувствительность может регулироваться путем изменений значений порогов Th_1 и Th_2 , однако эти свойства требуют дополнительного исследования.

Заклучение

Предложенный многоэтапный автоматический метод оценивания дисперсии аддитивного шума с применением детектора однородных участков на основе анализа статистического момента четвертого порядка позволяет существенно повысить точность оценивания (в особенности для текстурных изображений) по сравнению с ранее разработанными методами, рассмотренными в данной работе. В дальнейшем планируется провести исследования возможности использования описанного подхода для повышения точности методов оценивания дисперсии помех сложного вида, а также возможности усовершенствования предлагаемого детектора однородных участков для его использования в более широком круге задач.

Литература

1. Wu, H. R. *An Overview of Perceptual Processing for Digital Pictures [Text]* / H. R. Wu, W. Lin, L. Karam // ICME 2012: Proc. of Int. Conf., Melbourne (Australia), 9-13 July 2012. – P. 113-120.
2. Hoffman, R. *Interpreting Remote Sensing Imagery: Human Factors [Text]* / R. Hoffman, A. Mark-

man. – CRC Press, LLC, 2001. – 424 p.

3. *Remote Sensing Digital Image Analysis. An Introduction [Text]* / Jia Xiuping, J. A. Richards, W. Gessner, D. E. Ricken. 3-rd edition. – Berlin : Springer-Verlag, 1999. – 400 p.

4. Pratt, W. K. *Digital Image Processing [Text]* / W. K. Pratt. Fourth Edition. – NY : Wiley-Interscience, 2007. – 720 p.

5. *Обработка случайных сигналов и процессов [Текст] : учеб. пособие / А. Н. Беседин, А. А. Зеленский, Г. П. Кулемин, В. В. Лукин. – Харьков : Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2005 – 469 с.*

6. Moorthy, A. K. *Visual Quality Assessment Algorithms: What Does the Future Hold? [Text]* / A. K. Moorthy, A. C. Bovik // *Multimedia Tools and Applications*. – 2011. – Vol. 51, No. 2. – P. 675-696.

7. *Анализ методов автоматического оценивания дисперсии помех по базе цифровых тестовых изображений [Текст]* / В. В. Лукин, С. К. Абрамов, М. Л. Усс, В. В. Абрамова, Н. Н. Пономаренко, А. А. Зеленский, Б. Возель, К. Шеди, Я. Астола // *Методы цифровой обработки сигналов для решения прикладных задач: моногр.* – М. : Радиотехника, 2012 – Гл. 1. – С. 7 – 51.

8. Astola, J. *Fundamentals of nonlinear digital filtering [Text]* / J. Astola, P. Kuosmanen. – Boca Raton (USA) : CRC Press LLC, 1997. – 276 p.

9. Starck, J. *Image Processing and Data Analysis: The Multiscale Approach [Text]* / J. Starck, F. D. Murtagh, A. Bijaoui. – Cambridge University Press, 1998. – 315 p.

10. Забродина, В. В. *Применение робастных методов вписывания регрессионной прямой для повышения точности оценивания дисперсии сложных помех на изображениях [Текст]* / В. В. Забродина, С. К. Абрамов // *Радиоэлектронні і комп'ютерні системи*. – 2010. – № 4(45). – С. 149 – 155.

11. *Methods for blind evaluation of noise variance in multichannel optical and radar images [Text]* / V. V. Lukin, S. K. Abramov, N. N. Ponomarenko, B. Vozel, K. Chehdi // *Telecommunications and Radio-engineering*. – 2006. – Vol. 65 (6). – P. 509-537.

12. *Improved minimal inter-quantile distance method for blind estimation of noise variance in images [Text]* / V. V. Lukin, S. K. Abramov, A. A. Zelensky, J. T. Astola, B. Vozel, K. Chehdi // *Proc. of the SPIE on Image and Signal Processing for Remote Sensing XIII, Florence, Italy*. – 2007. – Vol. 6748. – P. 67481I.

13. *Image DCT coefficient statistics and their use in blind noise variance estimation [Electronic resource]* / D. Kurkin, V. Lukin, V. Abramova, S. Abramov, B. Vozel, K. Chehdi // *International Conference on Mathematical Methods in Electromagnetic Theory (MMET 2012), Kharkov, Ukraine, August 28-30, 2012. – Conference Proceedings CD-ROM. ISBN: 978-1-4673-4479-1*

14. *Blind evaluation of additive noise variance in textured images by nonlinear processing of block DCT coefficients [Text]* / N. N. Ponomarenko, V. V. Lukin, S. K. Abramov, K. O. Egiazarian, J. Astola // *Image*

Processing: Algorithms and Systems II: Proc. of Internat. Conf. – 2003. – SPIE Vol. 5014. – P. 178-189.

15. Zoran, D. *Scale Invariance and Noise in Natural Images [Text]* / D. Zoran, Y. Weiss // *ICCV. – 2009. – P. 2209-2216.*

16. *Secrets of image denoising cuisine [Text]* / M. Lebrun, M. Colom, A. Buades, J. M. Morel // *Acta Numerica. – 2012. – Vol. 21, No 1. – P. 475-576.*

17. Sendur, L. *Bivariate shrinkage with local variance estimation [Text]* / L. Sendur, I. W. Selesnick // *IEEE Signal Processing Letters. – 2002. – Vol. 9. – No 12. – P. 438-441.*

18. Klaine, L. *Unsupervised Variational Classification Through Image Multi-Thresholding [Text]* / L. Klaine, B. Vozel, K. Chehdi // *Proc. of the 13th EUSIPCO Conference, Antalya, Turkey, 2005. – 4 p.*

19. *Tampere Image Database 2008 TID2008, version 1.0 [Electronic resource]. – Access mode :*

http://ponomarenko.info/tid2008.htm. – 7.05.2010.

20. *New Estimators for Tail Heaviness Parameter of Generalized Gaussian Distribution [Text]* / A. Roenko, D. Kurkin, V. Lukin, I. Djurovic // *Proc. of MECO, Bar, Montenegro, June 2012. – P. 18 – 21.*

21. *Influence of multiplicative noise variance evaluation accuracy on MM-band SLAR image filtering efficiency [Text]* / S. K. Abramov, V. V. Lukin, N. N. Ponomarenko, K. O. Egiazarian, O. B. Pogrebnyak // *Proc. of the Fifth MSMW, Kharkov, Ukraine, June 2004. – Vol. 1. – P. 250-252.*

22. *Local Activity Indicators: Analysis and Application to Hard-Switching Adaptive Filtering of Images [Text]* / V. P. Melnik, V. V. Lukin, A. A. Zelensky, J. T. Astola, P. Kuosmanen // *Optical Engineering Journal. – 2001. – Vol. 40, No 8. – P. 1441-1455.*

Поступила в редакцію 19.11.2013, рассмотрена на редколлегии 11.12.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф., проф. каф. «Проектирования радиоэлектронных систем летательных аппаратов» Э. Н. Хомяков, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

БАГАТОЕТАПНИЙ АВТОМАТИЧНИЙ МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ ДИСПЕРСІЇ АДИТИВНОЇ ЗАВАДИ З ВИКОРИСТАННЯМ ДЕТЕКТОРА ОДНОРІДНИХ ДІЛЯНОК НА ОСНОВІ МОМЕНТУ ЧЕТВЕРТОГО ПОРЯДКУ

В. В. Абрамова, С. К. Абрамов, В. В. Лукін

Запропоновано метод автоматичного оцінювання дисперсії адитивних завад, який використовує детектор однорідних ділянок на основі моменту четвертого порядку. В методі застосовано ітеративну процедуру оцінювання дисперсії завад з корекцією карти однорідних областей на кожній ітерації. Проведено порівняльний аналіз результатів оцінювання дисперсії завад, які отримано запропонованим методом і раніше розробленими методами, на зображеннях з декількох відомих баз. Показано, що в більшості ситуацій запропонований метод забезпечує найкращу точність оцінювання, у тому числі й для високотекстурних зображень.

Ключові слова: цифрова обробка зображень, адитивні завади, автоматичне оцінювання дисперсії, детектування однорідних областей.

MULTI-STAGE METHOD FOR BLIND ADDITIVE NOISE VARIANCE EVALUATION USING HOMOGENEOUS REGION DETECTOR BASED ON FOURTH ORDER MOMENT

V. V. Abramova, S. K. Abramov, V. V. Lukin

A method for blind estimation of additive noise variance using homogenous region detector based on fourth order moment is been proposed. The method exploits iterative noise variance estimation procedure with homogenous region map correction at each iteration. Comparison analysis of estimation accuracy of the proposed and earlier developed methods for several image databases has been done. It has shown that in majority of situations the proposed method has the highest accuracy including high-textural images.

Keywords: image processing, additive noise, blind variance evaluation, homogenous region detection.

Абрамова Вікторія Валерьевна – аспірант каф. приёма, передачи и обработки сигналов, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, e-mail: Victoriya_Zabr@mail.ru.

Абрамов Сергей Клавдиевич – канд. техн. наук, доцент, доцент каф. приёма, передачи и обработки сигналов, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, e-mail: ask379@mail.ru.

Лукін Владимир Васильевич – д-р техн. наук, профессор, профессор каф. приёма, передачи и обработки сигналов, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, e-mail: lukin@ai.kharkov.com.