

УДК 681.325

О.И. ЕРЕМЕЕВ, Н.Н. ПОНОМАРЕНКО

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

МЕРА ИНФОРМАТИВНОСТИ УЧАСТКОВ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Классификация участков изображений на информативные и шумовые является важной задачей, так как позволяет получать более точные характеристики изображения и повышать качество изображений, полученных в результате цифровой обработки. В данной работе предлагается новая мера информативности участков изображений, основанная на вычислении разности между локальной дисперсией и ошибкой предсказания значений пикселей изображения. Эффективность предложенной меры продемонстрирована на примере задачи автоматического определения дисперсии шума на изображении.

Ключевые слова: цифровая обработка изображений, оценка дисперсии шума, информативность.

Введение

Постановка проблемы. Методы цифровой обработки изображений [1] активно используются во многих областях деятельности человека, например, дистанционном зондировании (ДЗ) Земли из космоса, медицине и др., что связано с необходимостью повышения качества изображений для решения различных прикладных задач. Назначением этих методов является устранение помех и искажений с целью улучшения последующей визуализации, оперативного анализа, фрагментирования и интерпретации изображений. Методы цифровой обработки, по сути, представляют собой специальные методы цифровой фильтрации и коррекции изображений [1, 2], для эффективного применения которых необходимо знать как характер участка изображения (определить шум это или информация) так и характеристики искажающих воздействий, например, дисперсию шума.

Классификация участков изображения на информационную и шумовую составляющие с последующим определением их характеристик является сложной задачей, эффективность решения которой непосредственно влияет на качество изображения, полученного после обработки. Другими словами, качество обработки изображения напрямую зависит от того, насколько качественно была оценена степень информативности (или, напротив, шумоподобности) того или иного участка изображения.

Одним из основных приложений цифровой обработки изображений являются изображения, сформированные системами ДЗ авиационного и космического базирования. Характерной особенностью этих изображений является присутствие на них шумов различной природы, качество автоматического

определения характеристик которых напрямую влияет на качество последующего анализа и обработки. При оценке параметров искажающих воздействий желательно исключить из анализа все информативные участки изображения, так как они приводят к завышению оценок этих параметров, в частности, дисперсии шума. А для этого необходимо иметь меру информативности (МИ) участков изображения, устойчивую к наличию искажений.

Анализ литературы. Задача разделения участков изображения на информационные и шумовые является одним из этапов более частных задач, таких как локально-адаптивная фильтрация [2, 3] или задача определения параметров шума, присутствующего на изображении [4]. При этом в локально-адаптивной фильтрации используются параметры локальной активности (ПЛА) [5], позволяющие разделить изображение на локально пассивные участки (шумовая компонента) и локально-активные участки (информационная компонента). Однако для вычисления большинства хороших ПЛА требуется априорное знание типа и параметров искажающих воздействий (закон распределения шума, его дисперсия и др.), что существенно ограничивает сферу использования этих ПЛА.

Другим подходом к разделению участков изображения на информационную и неинформационную составляющие является сегментация [6], используемая в задаче автоматической оценки дисперсии шума. При этом по гистограмме распределения значений пикселей изображения находится уровень фона (максимум гистограммы), который затем используется при сегментации (выделяются связанные участки изображения, состоящие из пикселей, близких по значению к уровню фона). Однако такой подход является эффективным только для достаточ-

но узкого класса изображений, так как требует наличия ярко выраженного фона на изображениях.

Цель исследования. В данной работе предлагается новая МИ, для вычисления которой не требуется никаких априорных знаний о характеристиках изображения и об искажающих воздействиях.

1. Идея предлагаемой меры информативности

Идея предлагаемой МИ заключается в ее оценке как разности между локальной энергией участка изображения и его непредсказуемостью:

$$\text{Информативность} = \text{Энергия} - \text{Непредсказуемость}$$

Действительно, чем более контрастными являются (обладают большей энергией) объекты изображения и текстура, тем больше их информативность. Одновременно, чем более непредсказуемыми являются значения пикселей участка изображения, тем больше его шумовая составляющая. Заметим, что непредсказуемость должна вычисляться в одинаковых масштабах (по одинаковой шкале) с энергией, чтобы для участка, содержащего только шум, полностью компенсировать энергию, независимо от значения дисперсии шума. Таким образом, информативность участка, содержащего только шумовую составляющую, будет равна нулю. Верхнее значение информативности ограничивается максимально возможным значением энергии участка изображения и зависит от способа ее оценки.

Предлагаемый подход к оценке информативности пикселей или участков изображения может легко модифицироваться для учета визуальной информативности, если при оценке энергии участка изображения учитывать эффекты визуального маскирования и различную чувствительность системы психо-визуального восприятия человека к различным пространственным частотам [7].

Заметим, что предложенный подход можно использовать как для оценки информативности отдельных пикселей изображения, так и для оценки информативности изображения в целом (как суммы информативностей всех его пикселей).

2. Метод вычисления предлагаемой меры информативности

В качестве оценки энергии участка изображения с центром в пикселе с индексами i, j будем использовать значение локальной дисперсии в окне 5×5 пикселей с центром i, j :

$$V_{ij} = \sum_{k=i-2}^{i+2} \sum_{l=j-2}^{j+2} I_{kl}^2 / 25 - \left(\sum_{k=i-2}^{i+2} \sum_{l=j-2}^{j+2} I_{kl} / 25 \right)^2, \quad (1)$$

где I_{kl} – значение пикселя с индексами kl .

Для вычисления прогноза значения пикселя с индексами i, j также будем использовать окно 5×5 пикселей с центром в этом пикселе. При этом прогноз будем вычислять как взвешенную сумму пикселей, соседних с пикселем ij :

$$P_{ij} = \sum_{k=i-1}^{i+1} \sum_{l=j-1}^{j+1} I_{kl} W_{kl} / \sum_{k=i-1}^{i+1} \sum_{l=j-1}^{j+1} W_{kl}, \quad (2)$$

где W_{kl} – вес пикселя с индексами kl , вычисляемый в соответствии с выражением:

$$W_{kl} = \begin{cases} 0, & k = i, l = j \\ 1, & E_{kl} = 0 \\ 1/E_{kl}, & E_{kl} \neq 0 \end{cases},$$

$$E_{kl} = \sum_{n=-1}^1 \sum_{m=-1}^1 (I_{k+n, l+m} - I_{i+n, j+m})^2 \delta(n, m),$$

$$\delta(n, m) = \begin{cases} 0, & k+n = i, l+m = j \\ 0, & n = 0, m = 0 \\ 1/7, & \text{в остальных случаях} \end{cases}.$$

Как видно из (2), вес W_{kl} при таком подходе является тем большим, чем больше окружение пикселя с индексом kl похоже на окружение пикселя с индексом ij .

После вычисления P_{ij} для всех пикселей изображения для каждого пикселя вычисляется его непредсказуемость в соответствии с выражением:

$$UP_{ij} = \sum_{k=i-2}^{i+2} \sum_{l=j-2}^{j+2} (I_{ij} - P_{ij})^2 / 25. \quad (3)$$

Таким образом, вычисленное в соответствии с (3) UP_{ij} характеризует непредсказуемость участка 5×5 пикселей изображения с центром в пикселе с индексами ij . Информативность Inf_{ij} пикселя ij будем вычислять как

$$Inf_{ij} = \begin{cases} V_{ij} - UP_{ij}K, & V_{ij} \geq UP_{ij}K \\ 0, & V_{ij} < UP_{ij}K \end{cases}, \quad (4)$$

где K – поправочный коэффициент, который мы предлагаем выбирать равным 2,25. Такое значение K , выбранное нами экспериментально, обеспечивает нулевую информативность для подавляющего большинства участков изображений, содержащих только шумовую компоненту.

На рис. 1 приведен пример карты значений Inf_{ij} , рассчитанных для стандартного тестового изображения Peppers.

Черным цветом показаны более информативные участки, белым – неинформативные. Обратим внимание, что к информативным участкам отнесены в основном участки границ объектов изображения, причем, чем контрастнее и более предсказуема граница, тем больше значение предложенной меры информативности для этого участка.

3. Использование меры информативности в задаче оценки дисперсии шума

Покажем, как предложенная МИ может использоваться, например, в решении задачи оценки дисперсии шума на изображениях. Возьмем простой



Рис. 1. Карта Inf_{ij} изображения Peppers

метод, основанный на формировании выборки локальных дисперсий в скользящем окне и получении оценки значения дисперсии шума как медианы этой выборки [6]. При этом в выборку обычно попадает достаточно большое число значений локальных дисперсий, вычисленных для информативных участков изображений, что завышает общую оценку.



Рис. 2. Карта Inf_{ij} изображения Peppers, $\sigma=10$

Исключив же из выборки все значения локальных дисперсий, вычисленные для точек с ненулевыми Inf_{ij} , мы повысим эффективность решения данной задачи.

Нами было осуществлено сравнение стандартного (Std) и модифицированного (Mod) в соответствии с вышеприведенным правилом методов оценки дисперсии шума для тестовых изображений Baboon, Barbara, Goldhill, Lena и Peppers (все 512×512 пикселей в оттенках серого цвета) и аддитивного Гауссовского шума со значениями $\sigma = 7, 10, 14, 1$ и 20 . На рис. 2. приведен пример карты значений Inf_{ij} изображения Peppers, искаженного шумом с $\sigma = 10$.

Сравнение рис. 1 и рис. 2 позволяет сделать вывод о хорошей устойчивости предложенной МИ к наличию шума на изображении и его величине, так как карты информативности на обоих рисунках отличаются очень мало.

Полученные результаты сравнения методов Std и Mod приведены в табл. 1.

Как видно из данных табл. 1, использование предложенной МИ обеспечивает существенное уменьшение ошибки оценивания (в среднем на 50%), что свидетельствует о хорошей эффективности предложенной МИ.

Таблица 1

Результаты сравнения стандартного и модифицированного методов оценки дисперсии шума

Изображение	σ	σ, Std	σ, Mod	Уменьшение ошибки оценивания, %
Baboon	7	20,06	12,113	60,5
	10	21,151	14,773	57,4
	14,1	23,319	19,039	46,7
	20	27,198	24,905	31,9
Barbara	7	11,061	8,0554	73,9
	10	13,299	11,092	66,7
	14,1	17,064	15,455	54,1
Goldhill	20	22,553	21,524	39,6
	7	10,735	8,9844	48,6
	10	12,907	11,687	41,4
Lena	14,1	16,457	15,633	34,0
	20	21,646	21,115	33,1
	7	8,6889	7,8019	52,9
Peppers	10	11,381	10,61	45,6
	14,1	15,272	14,63	54,7
	20	20,855	20,338	60,5
Peppers	7	8,8136	8,1608	35,9
	10	11,356	10,774	42,8
	14,1	15,137	14,629	48,5
	20	20,547	20,105	80,8

Заключение

В работе предложена новая эффективная МИ участков изображения, не требующая априорных знаний о характеристиках изображений и искажающих воздействиях. Предложенная МИ может вычисляться как для отдельных пикселей изображения, так и для всего изображения в целом, а также может быть легко модифицирована для вычисления меры визуальной информативности.

Проведенный анализ показал высокую эффективность предложенной МИ, использование которой позволило в среднем в 2 раза уменьшить ошибку в задаче оценки дисперсии шума на изображениях.

Литература

1. *Nonlinear Signal and Image Processing: Theory, Methods, and Applications (Electrical Engineering & Applied Signal Processing Series)* / Ed. by K. Barner and G. Arce. – CRC Press. – 2003. – 560 p.
2. *Astola J. Fundamentals of nonlinear digital filtering* / J. Astola, P. Kuosmanen. – Boca Raton (USA): CRC Press LLC. – 1997. – 276 p.
3. *Лукин В.В. Локально-адаптивная устойчивая фильтрация сигналов и изображений в многоканальных системах дистанционного зондирования* /

Дисс. докт. техн. наук: 05.07.12; защищена 26.11.2002; утв. 09.04.2003 / Лукин Владимир Васильевич. – Х., 2002. – 472 с.

4. *Беседин Ф.Н. Обработка случайных процессов и сигналов: учеб. пособие* / Ф.Н. Беседин, А.А. Зеленский, Г.П. Кулемин, В.В. Лукин; Мин-во образования и науки Украины, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ". – Х.: Изд-во Национального аэрокосмического университета "ХАИ", 2005. – 469 с.

5. *Melnik V. Local activity indicators for hard-switching adaptive filtering of images with mixed noise* / V. Melnik, M. Lukin, A. Zelensky, J. Astola, P. Kuosmanen // *Optical Engineering*. – 2001. – Vol. 40. – Issue 8. – P. 1441-1455.

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

7. *Ponomarenko N. On between-coefficient contrast masking of DCT basis functions [Електронний ресурс]* / N. Ponomarenko, F. Silvestri, K. Egiazarian, M. Carli, J. Astola, V. Lukin. – 80 Min / 700 MB. / *Proc. of the Third International Workshop on Video Processing and Quality Metrics. - USA, 2007. - 4 p. 1 електрон. опт. диск (CD-ROM); 12 см.*

Поступила в редакцию 8.10.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф., проф. кафедры В.К. Волосюк, кафедра 501 Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", Харьков.

МІРА ІНФОРМАТИВНОСТІ ДІЛЯНОК ЗОБРАЖЕНЬ

О.І. Єремєєв, М.М. Пономаренко

Класифікація ділянок зображень на інформативні та шумові є важливою задачею, бо дозволяє отримувати більш точні характеристики зображення та підвищувати якість зображень, які є результатами цифрової обробки. У даній роботі запропоновано нову міру інформативності ділянок зображень, яка базується на обчисленні відмінності між локальною дисперсією та похибкою прогнозування значень пікселів зображення. Ефективність запропонованої міри продемонстровано на прикладі задачі автоматичного оцінювання дисперсії шуму на зображеннях.

Ключові слова: цифрова обробка зображень, оцінювання дисперсії шуму, інформативність.

INFORMATIVITY MEASURE OF IMAGE REGIONS

O.I. Eremeev, N.N. Ponomarenko

The task of image regions classification on informative and noise components is important because it allows to obtain more accurate image characteristics and to increase quality of processed images. In this paper a new informativity measure of image regions is proposed. The measure bases on difference between local variance and prediction error of pixels values of the image region. Effectiveness of the proposed measure in task of estimation of noise variance for a given image is showed.

Key words: digital image processing, estimation of noise variance, informativity.

Єремєєв Олег Игоревич – магістрант кафедри 504 «Прием, передача и обработка сигналов» Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

Пonomаренко Николай Николаевич – канд. техн. наук, докторант кафедри 504 «Прием, передача и обработка сигналов» Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: nikolay@ponomarenko.info.