

УДК 519.673

И.А. Верещак

ОАО «Научно-исследовательский институт радиотехнических измерений, Харьков»

## СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ОСНОВНЫХ МОДЕЛЕЙ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ШУМА ДЛЯ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ РЕАЛЬНЫХ СЦЕН

Для целей построения адекватных моделей, а также эффективных систем фильтрации зашумленных изображений в работе производится систематизация основных моделей пространственного шума для цифровых изображений реальных сцен, получаемых с использованием стандартных устройств оцифровки.

**Ключевые слова:** изображение, модель, шум, распределение, фильтр.

### Введение

Основные источники шума на цифровом изображении – это сам процесс его получения, т.е. оцифровки, а также процесс передачи изображения по каналам связи. Работа сенсоров АЦП зависит от большого числа различных факторов, в том числе, от внешних условий, наблюдаемых в процессе съемки, от условий функционирования самих сенсоров, а также от качества сенсоров [1, 2].

Так, например, в процессе получения цифрового изображения с помощью фотокамеры с ПЗС матрицей, основными факторами, влияющими на уровень зашумления изображения, являются уровень освещения и температура сенсоров.

В процессе передачи изображения могут искажаться помехами, возникающими в каналах связи. Например, при передаче изображения по беспроводной связи, оно может подвергаться искажениям в результате разряда молнии, или иных электромагнитных возмущений в атмосфере [3, 4].

При рассмотрении свойств шума в работе будем полагать, что шум не зависит от пространственных координат и не наблюдается корреляции шума с самим изображением. В рамках сделанных предположений будем рассматривать классификацию и поведение шума в пространственной области. Для этих целей будем классифицировать шумы, и моделировать свойства шума с использованием статистических законов распределения, предполагая, что величина яркости пикселя изображения представляется стохастической величиной, характеризующейся случайной компонентой шума [1, 5 – 7].

Основная задача работы, таким образом, состоит в том, чтобы систематизировать основные (значимые для целей практики) модели пространственного шума, характерные для цифровых изображений реальных объектов и сцен, получаемых с использованием стандартных устройств оцифровки, с целью построения адекватных моделей, а также эффективных систем фильтрации зашумленных изображений.

### Основные модели пространственного шума характерные для цифровых изображений реальных сцен

Рассмотрим плотности распределения вероятностей основных моделей пространственного шума, которые наиболее часто встречаются в приложениях, связанных с обработкой изображений.

**Гауссов шум.** Математическая простота, характерная для работы с моделями гауссова шума (также называемого нормальным шумом) как в пространственной, так и в частотной области, обусловила широкое распространение этих моделей на практике.

На самом деле эта простота оказывается столь привлекательной, что зачастую гауссовы модели используются даже в тех ситуациях, когда их применение оправдано в лучшем случае лишь частично.

Функция плотности распределения вероятностей гауссовой случайной величины  $z$  задается выражением:

$$p(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-(z-\mu)^2/2\sigma^2}, \quad (1)$$

где  $z$  представляет собой значение яркости;  $\mu$  – среднее значение случайной величины  $z$ ;  $\sigma$  – ее среднеквадратическое отклонение.

Квадрат среднеквадратического отклонения  $\sigma^2$  называется дисперсией величины  $z$ .

Когда плотность распределения случайной величины  $z$  описывается функцией (1), то приблизительно 70% ее значений попадают в диапазон

$$[(\mu - \sigma), (\mu + \sigma)],$$

и примерно 90% в диапазон

$$[(\mu - 2\sigma), (\mu + 2\sigma)].$$

**Шум Релея.** Функция плотности распределения вероятностей шума Релея задается выражением

$$p(z) = \begin{cases} \frac{2}{b}(z-a)e^{-(z-a)^2/b} & \text{при } z \geq a; \\ 0 & \text{при } z < a. \end{cases}$$

Средняя и дисперсия для этого распределения

имеют вид

$$\mu = a + \sqrt{\pi b} / 4$$

$$\text{и } \sigma^2 = \frac{b(4 - \pi)}{4}.$$

*Шум Эрланга (гамма шум).* Функция плотности распределения шума Эрланга задается выражением

$$p(z) = \begin{cases} \frac{a^b z^{b-1}}{(b-1)!} e^{-az} & \text{при } z \geq 0; \\ 0 & \text{при } z < 0, \end{cases}$$

где  $a > 0$ ;  $b$  – положительное число. Средняя и дисперсия для этого распределения имеют вид

$$\mu = \frac{b}{a} \quad \text{и} \quad \sigma^2 = \frac{b}{a^2}.$$

*Экспоненциальный шум.* Функция плотности распределения экспоненциального шума задается выражением

$$p(z) = \begin{cases} ae^{-az} & \text{при } z \geq 0; \\ 0 & \text{при } z < 0, \end{cases}$$

где  $a > 0$ . Средняя и дисперсия для этого распределения имеют вид

$$\mu = \frac{1}{a} \quad \text{и} \quad \sigma^2 = \frac{1}{a^2}.$$

Следует заметить, что это распределение является частным случаем распределения Эрланга при условии, что параметр  $b = 1$ .

*Равномерный шум.* Функция плотности распределения равномерного шума задается выражением

$$p(z) = \begin{cases} \frac{1}{b-a} & \text{при } a \leq z \leq b; \\ 0 & \text{в остальных случаях.} \end{cases}$$

Средняя и дисперсия для этого распределения имеют вид

$$\mu = \frac{a+b}{2} \quad \text{и} \quad \sigma^2 = \frac{(b-a)^2}{12}.$$

*Импульсный шум.* Функция плотности распределения импульсного шума задается выражением

$$p(z) = \begin{cases} P_a & \text{при } z = a; \\ P_b & \text{при } z = b; \\ 0 & \text{в остальных случаях.} \end{cases}$$

Если  $b > a$ , то пиксель с яркостью  $b$  выглядит как светлая точка на изображении. Пиксель с яркостью  $a$  выглядит, напротив, как темная точка на изображении. Если при этом одно из значений  $P_a$ , или  $P_b$  равно нулю, то импульсный шум называется униполярным.

Значения импульсов шума могут быть как положительными, так и отрицательными. При оцифровке изображения обычно происходит масштабирование значений яркости. Поскольку величина связанных с импульсным шумом искажений, как пра-

вило, велика в сравнении с истинным сигналом, импульсный шум при оцифровке принимает экстремальные значения, что соответствует появлению черных и белых точек на изображении. Поэтому обычно предполагается, что значения  $a, b$  являются интенсивными в том смысле, что они равны минимальному и максимальному значениям, которые в принципе могут быть на оцифрованном изображении (рис. 1).

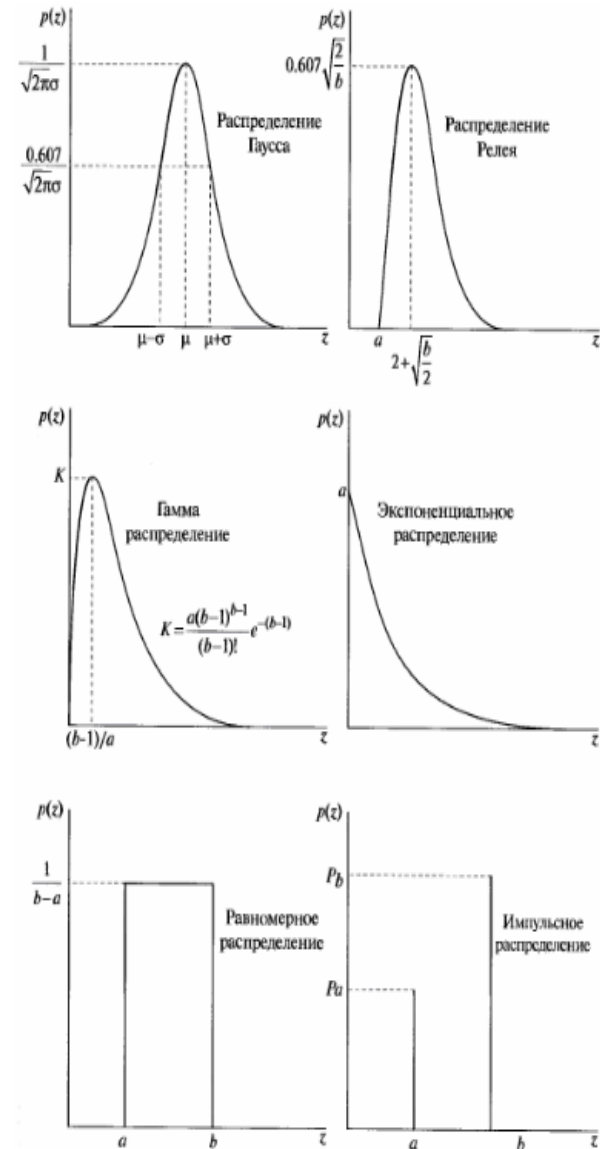


Рис. 1. Важнейшие функции плотности распределения вероятностей пространственного шума [1]

Не менее важными в некоторых приложениях являются следующие типы шумов [2 – 4, 7].

*Шум Коши.* Функция плотности распределения шума Коши задается выражением

$$p(z) = \frac{a}{\pi} \frac{1}{(x - \mu)^2 + a^2}.$$

Моментов начальных и центральных у этого распределения не существует, т.к. соответствующие интегралы расходятся.

*Гиперэкспоненциальный шум.* Функция плотности распределения гиперэкспоненциального шума задается выражением

$$p(z) = \begin{cases} \sum_{n=1}^N a_n \lambda_n e^{-\lambda_n z} & \text{при } 0 < z < \infty; \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

*Шум Накагами.* Функция плотности распределения шума Накагами задается выражением

$$p(z) = \begin{cases} \frac{2m^m}{\Gamma(m)} \frac{z^{2m-1}}{s^{2m}} e^{-\frac{mz^2}{s^2}} & \text{при } 0 < z < \infty; \\ 0 & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

где  $a \geq 0,5$ .

*Шум Максвелла.* Функция плотности распределения шума Максвелла выражением

$$p(z) = \begin{cases} \frac{4}{\sqrt{\pi}(2s^3)^{3/2}} z^2 e^{-\frac{z^2}{2s^2}} & \text{при } 0 < z < \infty; \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Средняя и дисперсия для этого распределения имеют вид

$$\mu = \frac{2\sqrt{2}s}{\sqrt{\pi}} \approx 1,6s \quad \text{и} \quad \sigma^2 = \frac{3\pi-4}{\pi} s^2 \approx 1,73s^2.$$

## Выводы

Таким образом, для целей построения адекватных моделей, а также эффективных систем фильтрации зашумленных изображений в работе произведена систематизация основных моделей пространственного шума характерных для цифровых изображений реальных сцен, получаемых с использованием стандартных устройств оцифровки.

При этом рассмотренные статистические распределения в совокупности представляют собой набор средств, которые позволяют моделировать искажения распределений яркости (цветности) изображений, связанные с широким диапазоном, встречающихся на практике шумов.

Одним из важнейших для целей практики является гауссов шум, который возникает на изображе-

нии в результате воздействия таких факторов, как шум в электронных цепях, и шум сенсоров, возникающий из-за недостатка освещения или высокой температуры вследствие перегрева. Распределение Рэлея полезно при построении модели шума, который возникает на снимках, полученных с большого расстояния. Экспоненциальное распределение и гамма распределения отвечают шуму на изображениях, полученных с использованием лазеров. С импульсным шумом мы сталкиваемся в ситуациях, когда в процессе получения изображения имеют место быстрые (скачкообразные) переходные процессы, а также, когда изображения характеризуются точечными объектами на грани разрешения, которые можно признать шумами.

Кроме того, что рассмотренные выше статистические распределения представляют собой набор средств моделирования искаженных распределений яркости изображений, эти статистические распределения являются основой для построения систем фильтрации изображений.

## Список литературы

1. Gonzalez R. Woods Digital Image Processing. Second Edition / R. Gonzalez. – Prentice Hall, 2002. – 793 p.
2. Форсайт Д. Компьютерное зрение. Современный подход: пер. с англ. / Д. Форсайт, Ж. Понс. – М.: Вильямс, 2004. – 928 с.
3. Яне Б. Цифровая обработка изображений / Б. Яне. – М.: Техносфера, 2007. – 584 с.
4. Шапиро Л. Компьютерное зрение: пер. с англ. / Л. Шапиро, Дж. Стокман. – М.: БИНОМ, 2006. – 752 с.
5. Введение в контурный анализ; приложения к обработке изображений и сигналов / Я.А. Фурман, А.В. Кревецкий, А.К. Передреев, А.А. Роженцов, Р.Г. Хафизов, И.Л. Егошина, А.Н. Леухин; под ред. Я.А. Фурмана. – 2-е изд., испр. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 592 с.
6. Sonka M. Image processing, analysis, and machine vision / M. Sonka, V. Hlavak, R. Boyle. – California (USA): Cole Publishing Company, 1999. – 770 p.
7. Прэтт Э. Цифровая обработка изображений: пер. с англ. / Э. Прэтт. – М.: Мир, 1982. – Кн. 1. – 312 с.

Поступила в редколлегию 23.10.2008

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Э.Б. Лысенко, Национальный аэрокосмический университет «ХАИ», Харьков.

## СИСТЕМАТИЗАЦІЯ ОСНОВНИХ МОДЕЛЕЙ ПРОСТОРОВОГО ШУМУ ДЛЯ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ РЕАЛЬНИХ СЦЕН

І.О. Верещак

*Для цілей побудови адекватних моделей, а також ефективних систем фільтрації зашумлених зображень в роботі проводиться систематизація основних моделей просторового шуму характерних для цифрових зображень реальних сцен, що одержують з використанням стандартних пристроїв оцифрування.*

**Ключові слова:** зображення, модель, шум, розподіл, фільтр.

## SYSTEMATIZATION OF BASIC SPATIAL NOISE MODELS FOR DIGITAL IMAGES OF REALISTIC SCENES

I.A. Vereschak

*For obtaining adequate models and effectual filtering systems for noisy images a systematization of the basic spatial noise models is proposed which are typical for digital images of realistic scenes being formed by conventional video digitizers.*

**Keywords:** image, model, sound, allocation, filter.