

## Реалистичная модель цифрового шума для создания и тестирования алгоритмов обработки изображений

*М.О. Рогожин*

ООО «Вокорд СофтЛаб»

Московский физико-технический институт (государственный университет)

Цифровые фотографии и видеозаписи стали частью повседневной жизни и используются для множества различных целей. Получаемые изображения часто бывают повреждены цифровым шумом, для повышения качества снимков используются алгоритмы фильтрации шумов. Но даже после обработки далеко не всегда удаётся значительно снизить уровень шума, кроме того могут не сохраняться мелкие детали на снимке и размываться края объектов. Часто причиной этого служит то, что при создании и тестировании алгоритмов обработки изображений необходимо использовать не реальные снимки, а искусственно зашумлённые фотографии высокого качества. Сказываются различия свойств реального цифрового шума и аддитивного белого гауссовского шума (АБГШ) с постоянной дисперсией, который чаще всего используется при разработке алгоритмов фильтрации. Целью данной работы являлось создание новой модели, свойства которой были бы приближены к свойствам реального цифрового шума.

Для понимания природы шума на цифровых фотографиях необходимо детально рассмотреть процесс получения снимка. Световой поток через оптическую систему камеры проецируется на фотоматрицу, где преобразуется в аналоговый электрический сигнал. После прохождения сигнала через АЦП получается Raw-изображение, которое далее обрабатывается камерой по заданным алгоритмам. Обычно обработка включает в себя дебайеринг для получения цветного изображения, преобразование яркости, сжатие динамического диапазона, а также сжатие с потерей качества для дальнейшего сохранения в памяти камеры. Структура реального цифрового шума во многом обуславливается характеристиками и поведением фотоматрицы, дальнейшая обработка и преобразования делают шум ещё сложнее. Так как многие современные камеры могут сохранять снимки в формате Raw, было решено работать с шумом Raw-изображений.

На качество цифровых изображений влияет множество различных факторов, таких как особенности камеры, температура, освещённость, электромагнитные помехи. Влияние большинства факторов можно свести к приемлемому уровню, но полностью избавиться от шума не удастся. Можно выделить три основных составляющих шума фотосенсора: фликкер-шум, дробовой (или фотонный) шум и тепловой шум [1]. Фотонный шум в общем случае имеет пуассоновское распределение [2], спектральная плотность фликкер-шума аналогична плотности розового шума, тепловой шум зависит от интенсивности света на фотосенсоре. Очевидно, что свойства подобной комбинации шумов будут отличаться от свойств АБГШ с постоянной дисперсией, а значит и использование модели АБГШ при разработке алгоритмов обработки изображений далеко не всегда приемлемо.

Приблизённо вычислить дисперсию реального шума сенсора можно по формуле

$$\sigma_{\text{сенси}}^2 = Q^2 \sigma_{\text{сенси}_2}^2 + Q \sigma_{\text{сенси}_1}^2 + \sigma_{\text{сенси}_0}^2, \quad (1)$$

где  $Q$  – заряд на фотосенсоре [3, 4]. Если не учитывать шум квантования, считая АЦП камеры достаточно точным, можно вычислить дисперсию шума Raw-изображения

$$\sigma^2 = I^2 \sigma_{\text{кв}}^2 + I \sigma_{\text{лин}}^2 + \sigma_{\text{сн}}^2, \quad (2)$$

где  $I$  – интенсивность пикселя Raw-изображения.

Для восстановления зависимости дисперсии цифрового шума от интенсивности был поставлен следующий эксперимент: протяжённый белый экран в тёмном помещении освещался лампой таким образом, чтобы яркость на нём менялась от высокой на одном краю до низкой на другом. Сцена фотографировалась при высоких значениях светочувствительности камеры, чтобы вызвать зашумлённость на фотографии. Далее для анализа на Raw-снимке выбирались участки экрана, на которых не наблюдалось резкого изменения интенсивности, и на них для каждого из каналов RGB вычислялась дисперсия и средняя интенсивность пикселей. Были построены графики зависимости дисперсии участка от его средней интенсивности. Зависимость аппроксимируется линейной функцией (рис. 1). На основе полученных данных были оценены величины коэффициентов в уравнении (2).

Шум к Raw-изображению добавляется, с нахождением для каждого пикселя значения локальной дисперсии, вычисляемой по формуле (3):

$$\sigma_{шума}^2 = aI^2 + bI + c. \quad (3)$$

Такой подход можно применять, используя функции пакета MATLAB.

Для проверки модели после добавления шума строились графики зависимости дисперсии от средней интенсивности пикселей для естественного изображения (с высоким уровнем шума и с низким) и для искусственно зашумлённого изображения (предложенный метод и АБГШ), где шум добавлялся к тому же естественному изображению с низким уровнем шума (рис. 2). Наклон прямой, отображающей зависимость дисперсии шума от интенсивности для предлагаемого метода зашумления, можно варьировать, изменяя коэффициенты в уравнении (3).

В дальнейшей работе планируется применение данной модели для разработки фильтра реальных шумов на естественных цифровых изображениях.

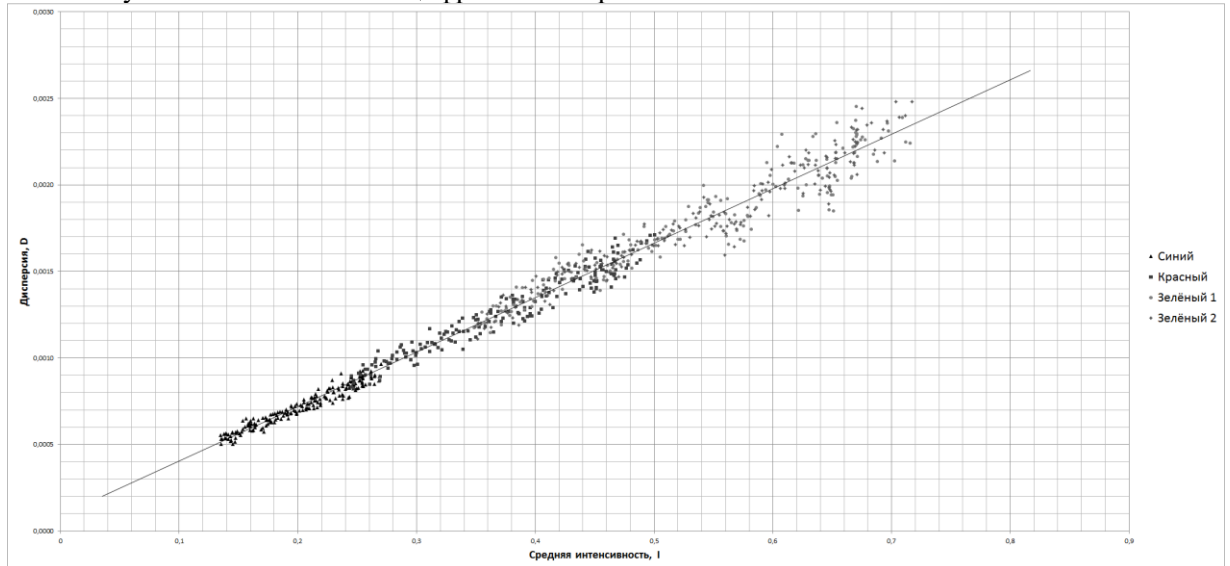


Рис. 1. Зависимость дисперсии от средней интенсивности для каждого из каналов зашумлённого изображения

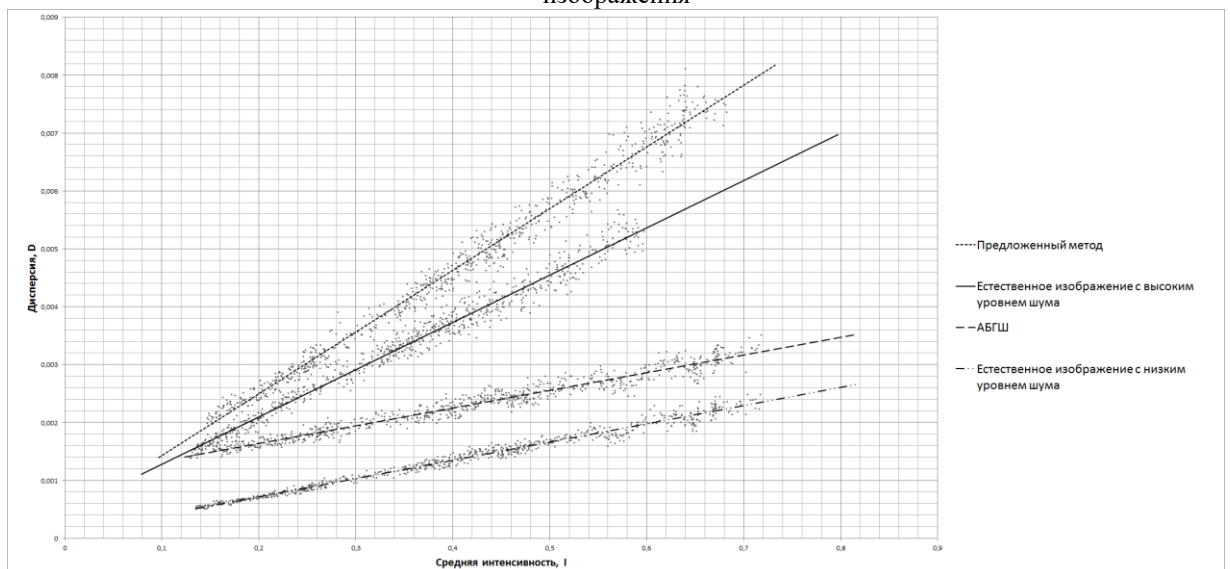


Рис. 2. Зависимость дисперсии от средней интенсивности для зашумлённого по предложенному методу изображения, для естественного изображения с высоким уровнем шума, для искусственно зашумлённого изображения с АБГШ и для естественного изображения с низким уровнем шума

## Литература

1. Tian H. Noise analysis in CMOS image sensors // Ph.D. thesis. 2000. 101 p.
2. Hasinoff S. W. Photon, Poisson noise // Computer Vision. 2014. P. 608–610.
3. Standard for Characterization of Image Sensors and Cameras // EMVA Standard 1288. Issued by European Machine Vision Association. 2012. 38 p.
4. Lim S. H. Characterization of Noise in Digital Photographs for Image Processing // Proceedings of SPIE. 2006. V. 6069.