
МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ, КОНТРОЛЯ, ДИАГНОСТИКИ

УДК 621.384.3

АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ ОБЪЕКТА ФОТОГРАФИРОВАНИЯ С БОЛЬШИМ ДИАПАЗОНОМ ЯРКОСТИ

Колобродов В.Г., Пивторак Д.А.

Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина

*Предложен алгоритм формирования изображения объекта фотографирования с большим диапазоном яркости из серии изображений, полученных в результате брекетинга экспозиции LDR-изображения, минимизирующий потери информации.
(E-mail: p_diana@i.ua)*

Ключевые слова: цифровая камера, изображение, широкий динамический диапазон, брекетинг.

Введение

Детали объектов ряда видов технической съёмки (например, рентгеновской или аэрофотосъёмки), представляющие практический интерес, имеют, как правило, крайне низкий контраст [1]. Ведение съёмки в условиях большого диапазона яркостей объекта фотографирования создаёт предпосылки к информационным потерям, обусловленным несоответствием динамического диапазона входного сигнала динамическому диапазону регистратора изображения.

Динамический диапазон регистратора изображения может быть существенно увеличен благодаря использованию технологии *HDRI (High Dynamic Range Image)*, при которой итоговое изображение составляется из цифровых значений, пропорциональных реальной яркости участков объекта фотографирования, соответствующих каждому пикселю изображения, и записывается в вещественной форме в файл с большим числом разрядов. Чаще всего *HDR*-изображение формируется из нескольких *LDR (Low Dynamic Range)* изображений, полученных в результате съёмки одного и того же сюжета с использованием «экспозиционной вилки» (брекетинга экспозиции) [2–4]. Для удобства отображения на устройствах с огра-

ниченным динамическим диапазоном (принтеры, мониторы, проекторы) *HDR*-изображения подвергаются дополнительной обработке, сводящейся в простейшем случае к подавлению низкочастотных составляющих спектра сигнала. Известные методы формирования *HDR*-файлов имеют недостатки, снижающие эффективность цифровой съёмки при наличии сдвига изображения во время экспонирования, а также при использовании брекетинга светочувствительности либо изменении относительного отверстия объектива или коэффициента пропускания нейтрального светофильтра.

Целью данной статьи являлась разработка алгоритма, минимизирующего информационные потери при формировании изображения объекта фотографирования с большим диапазоном яркости, предназначенного для визуализации на устройстве с ограниченным динамическим диапазоном.

Ограничения алгоритмов формирования *HDR*-изображений

В алгоритме формирования *HDR*-файлов [5], получившем наибольшее распространение в программных продуктах, предназначенных для работы с изображениями с большим дина-

мическим диапазоном, для расчёта числового значения каждого пикселя результирующего изображения, используются данные о значении яркости участка объекта фотографирования, соответствующего данному пикселю. Яркость участка объекта фотографирования, оптически сопряжённого с рассматриваемым пикселем, рассчитывается путём усреднения значений яркости, определённых отдельно для каждого изображения серии, полученной в результате брекетинга экспозиции. При этом яркости суммируются с определённым весовым коэффициентом, максимальное значение которого придаётся изображению серии, экспозиция рассматриваемого пикселя которого находится ближе к средней части функции отклика используемой фотографической системы. Для корректной работы алгоритма требуется неподвижность изображения во время съёмки при изменении экспозиции только с помощью выдержки. При расчётах предполагается, что оптимальная экспозиция соответствует середине кривой отклика фотографической системы.

Вместе с тем алгоритм не гарантирует получение наиболее информативных изображений, представляющих интерес для дешифровщика во многих реальных условиях фотографирования по следующим причинам. Параметр, определяющий эффективность съёмки, не всегда определяется только уровнем экспозиции. Чаще всего, эффективность съёмки оценивается по информационной ёмкости снимка или его разрешающей способности. В функции отклика фотографического сенсора существует достаточно узкий интервал экспозиций, для которого разрешающая способность изображения имеет максимальное значение. Другие звенья фотокамеры также оказывают влияние на качество получаемого изображения. Во время фотографирования в реальных условиях возможен сдвиг изображения из-за линейных и угловых перемещений камеры.

Кроме того, брекетинг экспозиции может быть реализован не только за счёт изменения эффективной выдержки, но и путём изменения относительного отверстия объектива или коэффициента пропускания нейтрального светофильтра объектива. В обычных условиях брекетинг относительного отверстия объектива не проводится из-за различия в глубине резко изображаемого пространства снимков, полученных при разных значениях диафрагмы. В то же время при съёмке плоских объектов (например, аэроландшафта с летательного аппарата)

применение брекетинга относительного отверстия объектива вполне корректно.

Снимки серии могут быть также получены в результате брекетинга светочувствительности или путём одновременного использования брекетинга экспозиции и светочувствительности. В этом случае оптимальная с точки зрения оценки эффективности экспозиция может не находиться в средней части кривой отклика приёмника оптического излучения. Под влиянием шумов, смаза изображения, абберационных и дифракционных искажений фрагмент изображения, находящегося в средней части кривой отклика, может быть менее информативным, чем аналогичный более светлый или тёмный фрагмент с других снимков серии. Однако, с точки зрения дешифрирования, наибольший интерес представляет изображение, несущее максимальную информацию о деталях данного объекта.

Реализация предлагаемого алгоритма формирования *HDR*-изображения

Предлагаемый алгоритм заключается в следующем. Путём брекетинга экспозиции получается серия изображений одного и того же сюжета при разных экспозициях, позволяющих последовательно разместить все участки объекта фотографирования в области нормальных экспозиций [6]. В большинстве случаев реального фотографирования достаточно двух-трёх снимков. После получения серии снимков задаётся размер и форма «окна», в пределах которого для каждого пикселя каждого изображения будет рассчитываться или измеряться параметр, определяющий эффективность фотосъёмки, что иллюстрируется рисунком 1.

Под термином «окно» в данном случае следует понимать совокупность пикселей, составляющих окружение интересующего пикселя. В данную совокупность входит интересующий пиксель и пиксели, отстоящие от него на заданном расстоянии. В простейшем случае «окно» определяется центром, в котором находится интересующий пиксель и соседние с ним пиксели.

В более сложном случае в зависимости от решаемых задач «окно» может создаваться совокупностью пикселей, ограниченных многоугольником произвольных размеров.

После этого для каждого пикселя каждого изображения рассчитывается или измеряется параметр, определяющий эффективность фотосъёмки. При этом для расчёта или измерения

параметра, определяющего эффективность фотосъёмки, используется информация от совокупности пикселей участка изображения в пределах ранее выбранного «окна», соответствующего данному пикселю. В качестве параметра, определяющего эффективность фотосъёмки, может быть выбрана разрешающая способность, усреднённая разрешающая способность, информационная ёмкость или другие параметры. Для художественной фотографии в качестве параметра, определяющего эффективность фотосъёмки, могут быть выбраны статистические данные субъективных оценок качества изображения, например условная шкала «плохое – хорошее изображение» [7].

После этого цифровые значения пикселя с координатами (x, y) каждого изображения i переводятся в значения, пропорциональные яркости участка объекта фотографирования, оптически сопряжённого с анализируемым пикселем $L(x, y, i)$. Для перевода цифрового значения пикселя в значения яркости участка объекта фотографирования используются данные об экспозиционных параметрах съёмки и функция отклика фотографической системы $N(\lg H)$, где N – число в файле изображения, соответствующее действующей в элементе светочувствительного сенсора экспозиции H .

Далее рассчитывается распределение яркости объекта фотографирования $L_{\Sigma}(x, y)$, для чего в каждый пиксель цифрового массива заносится информация из сопряжённого ему пикселя массива $L(x, y, i)$, для которого ранее получено значение параметра, определяющего эффективность фотосъёмки, имеет максимальное значение [8]. После этого для полученного распределения яркости $L_{\Sigma}(x, y)$, рассчитывается распределение $L_p(x, y)$, не содержащее высоких пространственных частот.

В простейшем случае проводится размытие изображения с использованием фильтра Гаусса [9] в пределах заранее выбранного «окна».

Возможно использование и других известных алгоритмов вычисления $L_p(x, y)$, снижающих эффект «оконтуривания» контрастных участков изображения. После получения распределений $L_{\Sigma}(x, y)$ и $L_p(x, y)$, осуществляется их перевод в значения экспозиций по формуле:

$$H_{\Sigma}(x, y) = \frac{L_{\Sigma}(x, y)}{L_p(x, y)} \cdot H_{CP},$$

где H_{CP} – экспозиция, соответствующая середине функции отклика фотографической системы.

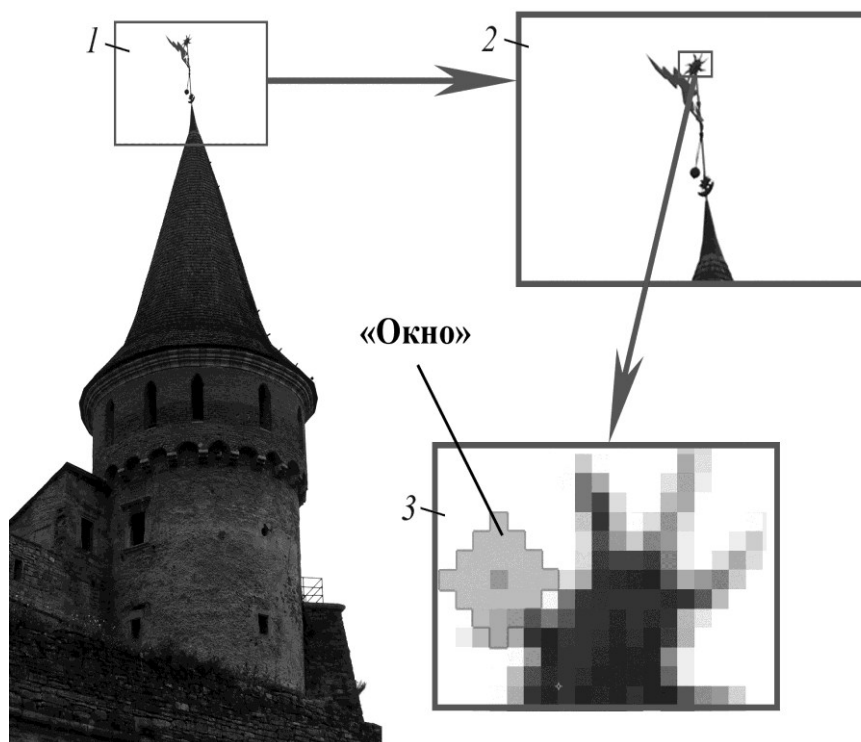


Рисунок 1 – Выбор «окна» при обработке изображения: 1, 2, 3 – вид «окна» при увеличениях Γ_1^* , Γ_2^* , Γ_3^* , соответственно, где $\Gamma_1^* < \Gamma_2^* < \Gamma_3^*$

Результирующее изображение $N_{\Sigma}(x, y)$ формируется с учётом функции отклика фотографической системы для требуемого формата представления. Работа предлагаемого алгоритма поясняется рисунком 2.

На рисунке 3 показаны исходные снимки объекта, полученные при разных экспозициях, и результирующее изображение, сформированное с помощью предлагаемого алгоритма.

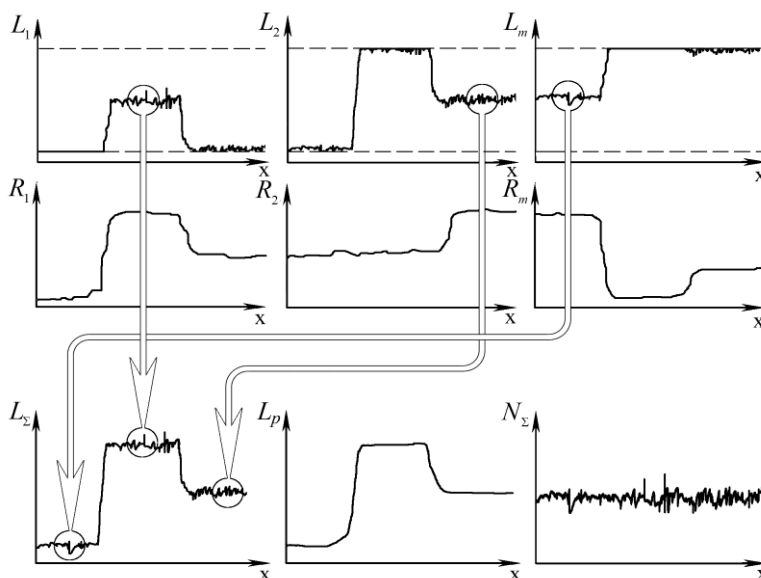


Рисунок 2 – Порядок формирования результирующего изображения $N_{\Sigma}(x, y)$: $L_i(x)$ – пространственное распределение яркости для i -го изображения одной серии снимков ($i = 1, 2, \dots, m$); $R_i(x)$ – пространственное распределение параметра, определяющего эффективность фотосъёмки для i -го изображения одной серии снимков ($i = 1, 2, \dots, m$); $N_{\Sigma}(x)$ – пространственное распределение цифрового изображения; $L_p(x)$ – пространственное распределение яркости в изображении, не содержащем высоких пространственных частот



Рисунок 3 – Иллюстрация результата работы предлагаемого алгоритма: 1, 2 – исходные изображения объекта фотографирования; 3 – результирующее изображение, сформированное с помощью предлагаемого алгоритма

Заключение

Разработан алгоритм для построения изображения объекта фотографирования с большим диапазоном яркости, который использует наиболее информативные элементы каждого изображения в частотном диапазоне, представляющем интерес для дешифровщика. Это даёт возможность минимизировать информационные потери при формировании результирующего изображения, предназначенного для визуализации на устройствах с ограниченным динамическим диапазоном.

Список использованных источников

1. *Фризер, Х.* Фотографическая регистрация информации / Х. Фризер. – М. : Мир, 1978. – 672 с.
2. *Dicarlo, J.* Rendering high dynamic range images / J. Dicarlo, B. Wandell // Proceedings of the SPIE: Image Sensors. – 2000. – 3965. – P. 392–401.
3. *Хук, П.* Цифровая фотография / П. Хук. – М. : Аст: Астрель, 2007. – 192 с.
4. *Reinhard, E.* High Dynamic Range Imaging: Acquisition, Display, and Image-Based Lighting / E. Reinhard, G. Ward, S. Pattanaik, P. Debevec. – San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers Inc., 2005. – 496 p.
5. *Debevec, P.E.* Recovering high dynamic range radiance maps from photographs / P.E. Debevec, J. Malik // In SIGGRAPH 97 Conference Proceedings, AddisonWesley, T. Whitted, Ed., Annual Conference Series, ACM SIGGRAPH, 1997. – California. – P. 369–378.
6. *Джордж К.* Библия цифровой фотографии / К. Джордж. – М. : Эксмо, 2009. – 320 с.
7. Способ получения цифрового изображения объекта: пат. 2429584 России, МКП H04N 5/235 / В.Г. Колобродов, Д.А. Пивторак, А.П. Подолян; заявка № 2010107167; заявл. 26.02.2010; опубл. 20.09.2011; бюл. № 26.
8. Способ получения цифрового изображения с большим динамическим диапазоном: патент 2470366 России, МКП G06T 5/50 / В.Г. Колобродов, Д.А. Пивторак, А.П. Подолян; заявка № 2011147227/08; заявл. 21.11.2010; опубл. 20.12.2012; бюл. № 35.

Kolobrodov V.G., Pivtorak D.O.

An algorithm for image forming of photographing object having large range of brightness

An algorithm for image forming of photographing object having large range of brightness from a series of images obtained by exposure bracketing of LDR-images that minimizes loss of information had been proposed. (E-mail: p_diana@i.ua)

Key words: digital camera, image, high dynamic range, bracketing.

Поступила в редакцию 16.07.2013.