



The Method of Recording Information in the Iconic Optical-Electronic System of Non-Destructive Testing

Diana PIVTORAK

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, Ukraine,
e-mail: p_diana@i.ua

Abstract

A method for registration a two-dimensional image of a photographic control object with a large range of brightness had been proposed. The method allows to form an HDR image from a series of LDR images obtained as a result of exposure bracketing or bracketing the sensitivity of an optical receiver. Patterning of digital HDR image is based on the calculation and recording of actual values of brightness of the object photographed portions corresponding to each pixel in the image. The calculation of the real brightness of the portion of the photographing object is carried out as a result of averaging the data obtained from a series of LDR images. When averaging the data in the most informative elements of each image are taken with a maximum weighting factor that determines the high quality of the resulting image of the photographic control object.

Keywords: Exposure, bracketing, dynamic range, digital image, HDR

Способ регистрации информации в иконической оптико-электронной системе неразрушающего контроля

Диана ПИВТОРАК

1. Введение

В комплексах неразрушающего контроля широко используются фотографические системы регистрации и обработки оптической информации. Как правило, такие системы являются иконическими, предполагающими участие человека в процессе анализа полученных изображений [1]. Фотографические системы используются при визуальном контроле состояния объекта (техническая съёмка), а так же при рентгеновском контроле для фотографирования изображений на сцинтилляционных экранах [2]. Чаще всего, результирующее изображение формируется за счёт совокупности представляющих интерес малоконтрастных деталей объектов, находящихся в большом диапазоне яркостей. При этом, из-за несоответствия динамических диапазонов входного яркостного сигнала и фоторегистратора изображения, имеют место потери информации.

С целью снижения данных потерь при получении цифрового изображения объектов фотографирования с большим диапазоном яркости используется технология HDR (High Dynamic Range), позволяющая сформировать изображение с большим динамическим диапазоном. Как правило, изображение представляется в виде массива вещественных чисел, соответствующих реальной яркости элементарных участков фотографируемого объекта. Чаще всего HDR изображение формируется в результате алгоритмической обработки нескольких LDR (*Low Dynamic Range*) изображений одного и того же объекта, полученных при разных значениях регулирующих экспозицию параметров (брекетинг экспозиции) [3, 4].

Технология HDR позволяет сохранить максимальный объём информации об фотографируемом объекте контроля в широком диапазоне пространственных частот. Для удобства работы оператора с HDR изображениями и их отображении на приборах, имеющих ограниченный динамический диапазон (фотопринтеры, мониторы, проекторы и т.д.), разработаны эффективные алгоритмы тоновой коррекции, позволяющие сузить динамический диапазон изображения с сохранением информации об представляющих потенциальный интерес фрагментах фотографируемого объекта контроля. Однако, потери информации на этапе формирования HDR изображения являются невозможными при дальнейшей алгоритмической обработке данного изображения.

Применяемые подходы к формированию изображений HDR имеют существенные недостатки, которые снижают эффективность цифровой съёмки объекта контроля.

Целью данной статьи является разработка эффективного способа регистрации цифровой фотографической информации об объекте контроля с большим диапазоном яркости.

2. Регистрация изображений объектов с большим диапазоном яркости путём брекетинга экспозиции

Для определения значений реальной яркости соответствующих каждому пикселю цифрового изображения элементарных участков фотографируемого объекта контроля, необходимых для формирования HDR изображения, наибольшее распространение на практике получил алгоритм, описанный в [5]. Для его реализации используется серия LDR снимков объекта контроля, полученных в результате брекетинга экспозиции. Сначала определяются экспозиции, соответствующие числу, описывающему пиксель, после чего экспозиции пересчитываются в значения, пропорциональные величине яркости участка объекта фотографирования, соответствующего данному пикселю. После этого, все яркости, соответствующие доступным экспозициям пикселя, суммируются с определённым весовым коэффициентом. Максимальное значение весового коэффициента соответствует экспозиции, находится в средней части кривой отклика аппарата.

Данный алгоритм формирования HDR изображения из нескольких LDR изображений применяется при ряде ограничений и допущений. Прежде всего, за оптимальное принимается значение экспозиции, которая соответствует середине кривой отклика. Кроме того, брекетинг экспозиции осуществляется за счёт брекетинга выдержки, объект неподвижен, а освещённость объекта фотографирования остаётся постоянной во время получения серии снимков.

Вместе с тем, реальные условия фотографирования редко соответствуют принятым ограничениям, в связи с чем, использование данного алгоритма не может гарантировать получение наиболее информативных изображений.

Параметр, определяющий эффективность фотографической съёмки, чаще всего не соответствует середине функции отклика фотографической системы. Как правило, в качестве критерия оценки эффективности фотосъёмки выбирается информационная ёмкость снимка или его разрешающая способность [6]. Зависимость разрешающей способности фотоприёмника от уровня действующей в чувствительном слое экспозиции описывается резольвометрической характеристикой [7]. При малых и больших экспозициях разрешающая способность падает из-за снижения контраста элементов изображения фотографируемого объекта контроля, кроме того существенное влияние оказывают шумы, зависящие от уровня экспозиции.

Число, соответствующее определённому пикселю изображения фотографируемого объекта контроля, в общем случае, зависит от его яркости, коэффициента пропускания

оптики, относительного отверстия используемого объектива, эффективной выдержки затвора фотографического регистратора, светочувствительности фоторегистратора. Следовательно, одинаковых результатов с точки зрения получения серии цифровых изображений, можно добиться путём брекетинга выдержки, брекетинга коэффициента пропускания нейтрального светофильтра, брекетинга относительного отверстия объектива, брекетинга светочувствительности или комбинацией изменения данных параметров.

В реальных условиях фотографирования имеет место сдвиг изображения, в связи с чем разрешающая способность будет зависеть от величины эффективной выдержки затвора фоторегистратора. Это ограничивает возможность использования только брекетинга выдержки.

Брекетинг относительного отверстия объектива при создании HDR изображений, как правило, не проводится из-за изменения глубины резко изображаемого пространства. Однако, при фотографировании плоских объектов, например, экранов рентгеновских аппаратов, его использование оправдано. Вместе с тем, диафрагменное число существенно влияет на разрешающую способность фотографической системы. На открытой диафрагме разрешающую способность системы ограничивают aberrации, при малых значениях относительного отверстия объектива начинают сказываться дифракции.

При брекетинге светочувствительности разрешающая способность изменяется из-за изменения уровня шума в изображении.

Таким образом, при использовании брекетинга экспозиции или светочувствительности в реальных условиях, экспозиция, соответствующая оптимальному значению параметра, выбранного в качестве критерия эффективности, может не соответствовать середине функции отклика фотографической системы. В этом случае, использование известного алгоритма формирования HDR изображения не позволяет получить изображение, несущее максимальную информацию о деталях фотографируемого объекта контроля.

3. Реализация предлагаемого способа регистрации изображения фотографируемого объекта контроля с большим интервалом яркости

Способ формирования изображения поясняется рис. 1 [8, 9].

Предлагаемый способ основан на обработке цифровых массивов LDR изображений объекта контроля $Z_{LDR}(i, k)$, полученных из одной точки фотосъёмки, где i – условный номер пикселя, $k = 1, 2 \dots p$ – номер изображения в серии.

Для корректной работы предлагаемого способа формирования изображения требуется точное знание функции отклика используемой фотографической системы $Z_{LDR}(H, S_{iso})$ при используемых значениях светочувствительности фоторегистратора S_{iso} , которая связывает цифровое значение пикселя изображения Z_{LDR} с экспозицией H на чувствительном элементе фотосенсора, который соответствует некоторому пикселю i . Функция отклика может быть измерена экспериментально [10], рассчитана или взята из технической документации на используемый фоторегистратор. Для большинства фоторегистраторов с достаточной для практики точностью, отличиями функций отклика каждого элемента, составляющего единый фотосенсор (например, фотоматрицу), можно пренебречь. На рисунке функция отклика фотографической системы, с помощью которой создаются исходные изображения объекта контроля с малым динамическим диапазоном, показана в виде семейства графиков $Z_{LDR}(\lg H, S_{iso})$.

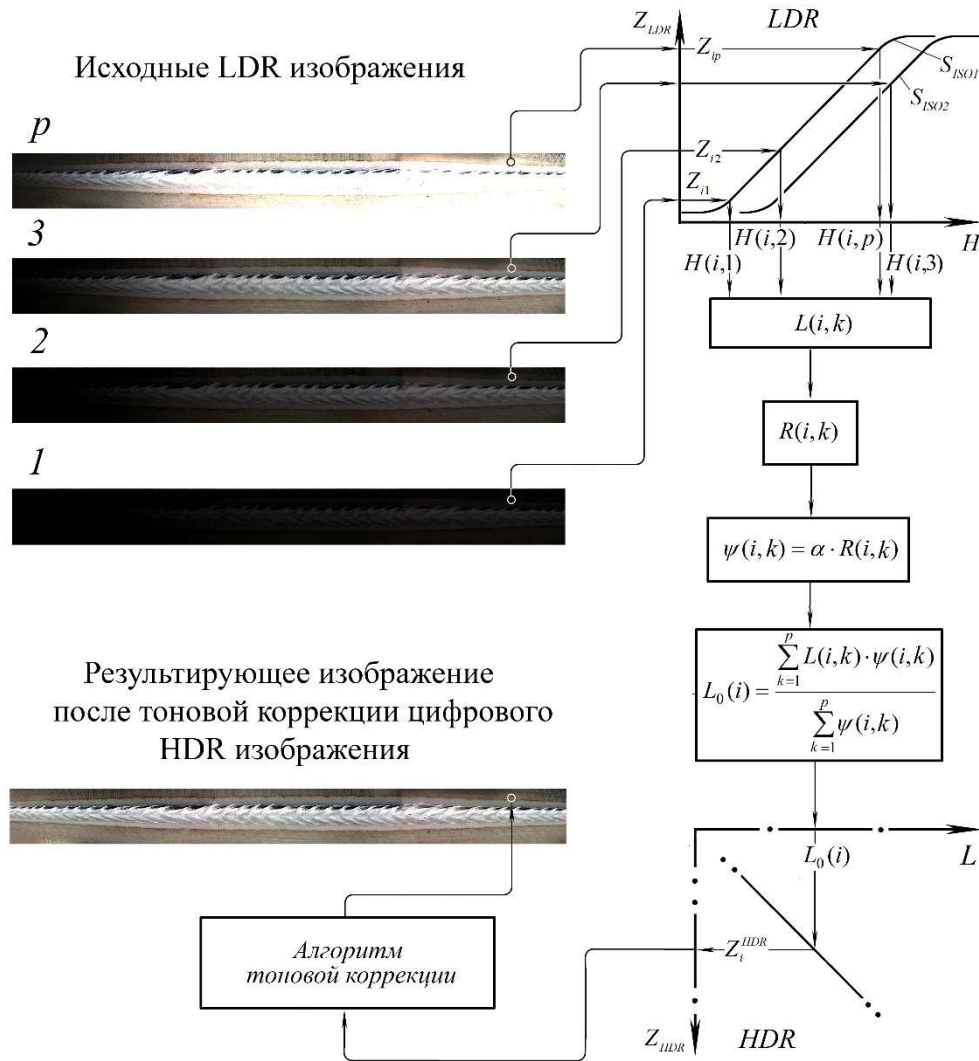


Рис. 1. Алгоритм формирования HDR изображения из серии LDR изображений

Далее формируется массив из p цифровых изображений одного и того же объекта фотографического контроля, каждое из которых получается при разных значениях средней по кадру экспозиции или светочувствительности фоторегистратора.

После формирования массива цифровых изображений, для каждого пикселя каждого изображения определяется значение действующей в светочувствительном слое элемента, соответствующего пикселю изображения экспозиции $H(i, k)$. В дальнейшем проводится расчёт значений реальной яркости $L(i, k)$ элементарных участков фотографируемого объекта контроля, соответствующих данному пикселю i . В общем случае, выражения для расчёта имеет вид:

$$L(i, k) = \frac{K_E(i)}{S_{ISO}} \cdot \frac{n^2}{t_e} \cdot H(i, k), \quad (1)$$

где t_e – эффективная выдержка затвора фотоаппарата; n – диафрагменное число используемого объектива; S_{ISO} – светочувствительность сенсора; K_E – коэффициент, учитывающий светопропускание оптики, критериальный коэффициент определения

светочувствительности фоторегистратора, изменение экспозиции чувствительных элементов фотосенсора, вызванных падением освещённости от центра кадра к его краю.

Обязательным условием для реализации предлагаемого способа является определение для каждого пикселя i и каждого изображения k параметра $R(i, k)$, принятого за критерий оценки эффективности системы. Для этого может использоваться информация с рядом расположенных пикселей. В общем случае, в качестве критерия эффективности могут быть выбраны такие параметры, как разрешающая способность или информационная ёмкость участка кадра в районе заданного пикселя, относительно легко рассчитываемые с использованием методов пространственно-частотного анализа.

Одновременно с определением параметра $R(i, k)$, принятого за критерий эффективности системы, для каждого пикселя исходных цифровых изображений, проводится расчёт весового коэффициента

$$\psi(i, k) = \alpha \cdot R(i, k), \quad (2)$$

где α – коэффициент пропорциональности.

Далее, с целью повышения достоверности получаемых результатов, уменьшения эффекта артефактов и снижения уровня шумов, для участков объекта фотографирования, соответствующих каждому пикселю, проводится расчёт значения соответствующей ему яркости объекта фотографирования

$$L_0(i) = \frac{\sum_{k=1}^p L(i, k) \cdot \psi(i, k)}{\sum_{k=1}^p \psi(i, k)}, \quad (3)$$

где k - число изображений в серии, после чего из оцифрованных значений $L_0(i)$ составляют результирующее изображение.

Из расчёта $L_0(i)$ исключаются данные, соответствующие крайним значениям цифрового диапазона функции отклика LDR системы.

Таким образом, при формировании итогового HDR-изображения, наиболее информативные элементы каждого изображения при расчёте значений $L_0(i)$ берутся с максимальным весовым коэффициентом, что определяет высокое качество результирующего изображения.

3. Заключение

В работе разработан способ регистрации цифровой фотографической информации объекта контроля с большим диапазоном яркости. Способ позволяет сформировать изображение с большим динамическим диапазоном из серии изображений с малым динамическим диапазоном. Итоговое представляет собой цифровой массив, содержащий значения реальной яркости фотографируемого объекта контроля, для расчёта которых данные из наиболее информативных участков исходных изображений берутся с максимальным весовым коэффициентом, что определяет высокое качество результирующего изображения

References

1. Мирошников М.М., Теоретические основы оптико-электронных приборов, Москва, Машиностроение, Ленинградское отделение, 1983.
2. Троицкий В.А., С.Р. Михайлов, Р.О. Пасовенский, Д.С. Шило, Современные системы радиационного контроля неразрушающего контроля, Техническая диагностика и неразрушающий контроль, №1, с. 23-35, 2015.
3. Dicarolo J., B. Wandell, Rendering high dynamic range images, Proceedings of the SPIE: Image Sensors, 3965, pp. 392–401, 2000.
4. Reinhard E., G. Ward, S. Pattanaik, P. Debevec, E. Reinhard, High Dynamic Range Imaging: Acquisition, Display, and Image-Based Lighting, San Francisco, Morgan Kaufmann Publishers Inc., 2005.
5. Debevec P. E., J. Malik, Recovering high dynamic range radiance maps from photographs, In SIGGRAPH 97 Conference Proceedings, AddisonWesley, T. Whitted, Ed., Annual Conference Series, ACM SIGGRAPH, 1997, pp. 369–378.
6. Бойко Д.А., Разработка метода многокритериальной оценки качества визуализации маммограмм, Системи управління, навігації та зв'язку, №2 (34), с. 63-67, 2015.
7. Ребрин Ю.К., Оптико-электронное разведывательное оборудование летательных аппаратов, Киев, КВВАИУ, 1988.
8. Колобродов В.Г., Д.О. Півторак, О.П. Подолян, Спосіб одержання цифрового зображення з великим динамічним діапазоном, МПК G06T 5/50, Пат. 98750 України, опубл. 10.06.2012, бюл. № 11.
9. Колобродов В.Г., Д.А. Пивторак, А.П. Подолян, Способ получения цифрового изображения с большим динамическим диапазоном, МКП G06T 5/50, Пат. 2470366 Российской Федерации, опубл. 20.12.2012, бюл. №35.
10. Колобродов В.Г., Д.О. Півторак, Алгоритм кодування зображення об'єкта фотографування, що має великий діапазон яскравостей, Наукові вісті НТУУ "КПІ", №2, с. 129-132, 2013.