

ПРИЛАДОБУДУВАННЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА

УДК 621.384.3

В.Г. Колобродов, Д.О. Півторак

АЛГОРИТМ КОДУВАННЯ ЗОБРАЖЕННЯ ОБ'ЄКТА ФОТОГРАФУВАННЯ, ЩО МАЄ ВЕЛИКИЙ ДІАПАЗОН ЯСКРАВОСТІ

This paper proposes an algorithm for image coding of photographing object having a large range of brightness. It allows to achieve a high quality image of the photographing object by constructing it of the most informative images' elements of the object obtained under the same environmental conditions and different exposures. We also propose an algorithm for resulting HDR (High Dynamic Range) image coding from a series of LDR (Low Dynamic Range) images obtained by exposure bracketing or sensitivity bracketing of the optical receiver. Patterning of digital HDR image is based on calculation and recording of actual values of brightness of the object's photographed portions corresponding to each pixel in the image. The calculation of the real brightness of the object's photographed portions is photographed by averaging the data obtained from a series of LDR images. When averaging the data the most informative elements of each image are taken with a maximum weighting factor determining the quality of the resulting image.

Вступ

У більшості випадків технічної зйомки (наприклад, рентгенівська або аерозйомка) результуюче зображення формується за рахунок сукупності малокоонтрастних об'єктів спостереження, що перебувають у великому діапазоні яскравостей. Основною причиною інформаційних втрат при зйомці таких об'єктів є невідповідність динамічного діапазону вхідного сигналу динамічному діапазону реєстратора зображення. Це пояснюється дією низки факторів [1, 2]: перепадом освітленості за рахунок тіней від хмар, природних і штучних споруд, диму від заводських труб та інших предметів; наявністю в полі зору знімальної камери “відблискуючих” дзеркально відбиваючих, в тому числі водних, поверхонь; широким діапазоном зміни коефіцієнта яскравості природних об'єктів зйомки (від 0,02 для чорнозему до 1,0 для снігу, який тільки що випав); малим динамічним діапазоном приймачів оптичного випромінювання, які використовуються в знімальних камерах для реєстрації зображення.

Для мінімізації втрат інформації при реєстрації цифрових зображень застосовується технологія HDR (High Dynamic Range), що передбачає формування зображень із великим динамічним діапазоном. Найчастіше підсумкове HDR-зображення складають із цифрових значень, які пропорційні реальній яскравості ділянок об'єкта фотографування, відповідних кожному пікселю зображення, і записують в речовій формі у файл з великим числом розрядів (32 і більше). Зазвичай такі зображення формують із кількох зображень з малим динамічним діапазоном LDR (Low Dynamic Range),

отриманих у результаті зйомки одного і того ж сюжету за різних рівнів середньої експозиції або світлочутливості (так званого брекети́нгу експозиції або світлочутливості) [3–10]. При формуванні HDR-зображення зберігається великий об'єм інформації про об'єкт фотографування у всьому діапазоні просторових частот. Отримані таким чином зображення допускають подальшу алгоритмічну обробку для забезпечення зручності їх відображення на приладах з обмеженим динамічним діапазоном вихідного сигналу (монітори, фотопринтери тощо). В той же час втрати інформації на етапі формування HDR-зображення є непоправними.

Відомі методи формування HDR-файлів мають недоліки, які знижують ефективність цифрової зйомки в реальних умовах застосування фотоапаратури, що характеризуються наявністю зсуву під час експонування, а також при використанні, поряд з брекети́нгом ефективною витримки затвора, брекети́нгу світлочутливості й відносного отвору об'єктива.

Постановка задачі

Метою статті є розроблення алгоритму формування HDR-зображення із серії зображень, отриманих у результаті брекети́нгу експозиції LDR-зображення, що мінімізує втрати інформації.

Обмеження відомих алгоритмів формування HDR-зображень

Для розрахунку значень реальної яскравості ділянок об'єкта фотографування, відповідних кожному пікселю, в найбільш поширеному ал-

горитмі формування HDR-файлів [11] використовують інформацію з відповідного пікселя кожного з кадрів, отриманого в результаті брекетингу експозиції. Далі всі доступні експозиції конкретного пікселя підсумовуються з певним ваговим коефіцієнтом, причому максимальна "вага" надається тій експозиції, яка перебуває ближче до середньої частини кривої відгуку апарата. Цей алгоритм дає можливість сформувати зображення з великим динамічним діапазоном за відомих допущень:

- картинка під час отримання знімків є статичною;
- зміна середньої експозиції при отриманні серії знімків проводиться тільки за допомогою зміни часу експозиції, в той час як розподіл освітленості залишається незмінним;
- оптимальна експозиція відповідає середній частині кривої відгуку.

Однак ці припущення не завжди відповідають реальним умовам фотографування, у зв'язку з чим відомий алгоритм не завжди гарантує отримання найбільш інформативних зображень, які є найбільш цікавими для дешифрувальника. Параметр, що визначає ефективність зйомки, далеко не завжди визначається тільки рівнем експозиції.

Найчастіше ефективність зйомки оцінюється за інформаційною ємністю знімка або його роздільною здатністю. На кривій відгуку приймача оптичного зображення (наприклад, кривій відгуку матриці ПЗЗ або характеристичній кривій фотоплівки) існує досить вузький інтервал експозицій, для якого роздільна здатність зображення має максимальне значення. У зоні малих і великих експозицій роздільна здатність спадає за рахунок зниження контрасту зображення через нелінійність кривої відгуку. В області великих експозицій має місце насичення, а в області малих експозицій роздільна здатність обмежена шумами. Однак й інші ланки фотоапарата впливають на якість отриманого зображення. Перш за все, LDR-зображення серії не завжди можуть бути отримані в статичних умовах тільки за рахунок зміни середньої витримки. Під час експонування в реальних умовах може бути зсув зображення. Крім того, брекетинг експозиції може бути зроблений за рахунок зміни відносного отвору об'єктива або коефіцієнта пропускання нейтрального світлофільтра об'єктива.

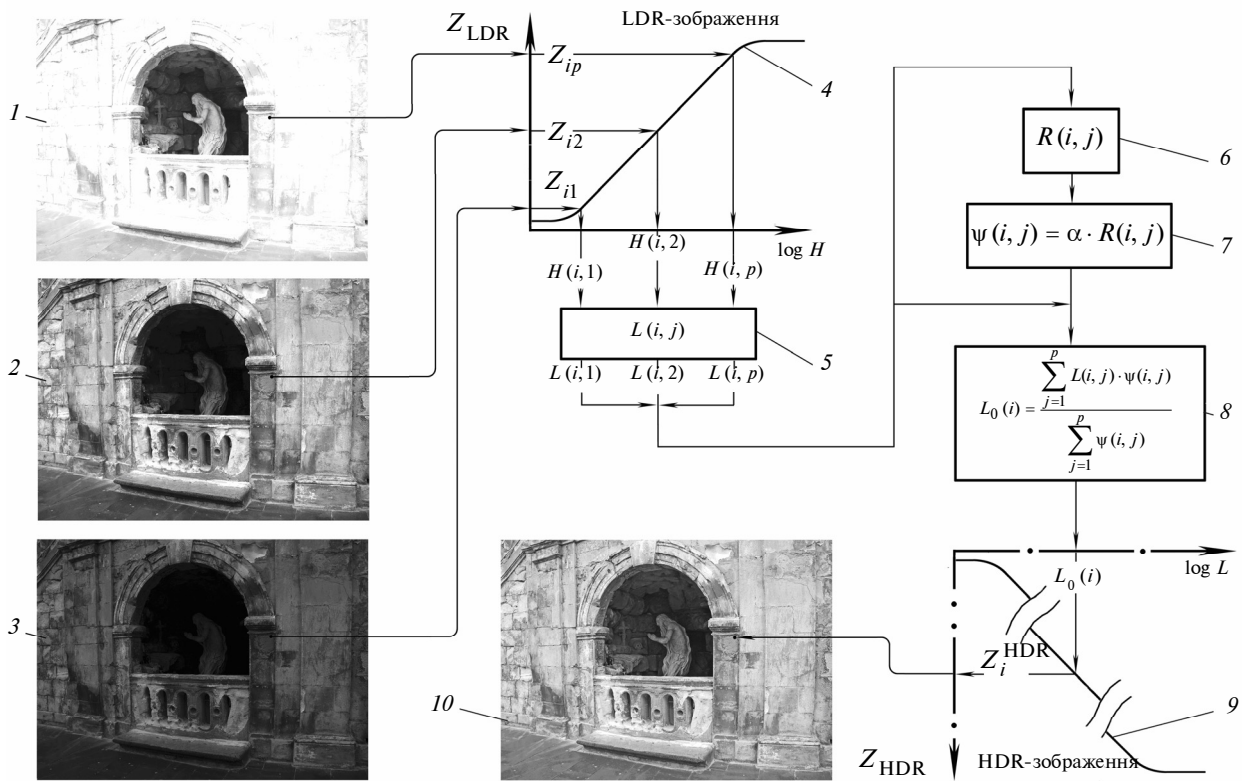
У звичайних умовах брекетинг відносного отвору об'єктива не проводиться через відмінності в глибині різкості знімків, отриманих за

різних значень діафрагми. У той же час при зйомці плоских об'єктів (наприклад, аероландшафта з літального апарата) застосування брекетингу відносного отвору об'єктива цілком коректне. Так само знімки серії можуть бути отримані в результаті брекетингу світлочутливості або одночасним використанням брекетингу експозиції і світлочутливості. У цьому випадку оптимальна з точки зору оцінки ефективності експозиція може не перебувати в середній частині кривої відгуку приймача оптичного випромінювання. Наприклад, фрагмент об'єкта, зображення якого міститься в середній зоні кривої відгуку фотоприймача на одному знімку, може мати більш низьку роздільну здатність, ніж той же фрагмент об'єкта на іншому знімку, зображення якого міститься в іншій зоні експозицій. Це може визначатися, наприклад, різним часом експозиції при зйомці. У першому випадку некомпенсований зсув зображення може мати істотніший вплив на роздільну здатність, ніж неоптимальна експозиція.

Аналогічний ефект може бути отриманий при різних відносних отворах об'єктива за рахунок абераційних і дифракційних явищ. За використання брекетингу світлочутливості зображення, що міститься в середній частині кривої відгуку, може бути менш інформативним, ніж аналогічне більш світле з іншого знімка серії, через вплив шумів. Разом із тим найбільший інтерес з точки зору дешифрування становить зображення, що несе максимальну інформацію про деталі цього об'єкта.

Реалізація запропонованого алгоритму формування HDR-зображення

Робота запропонованого алгоритму пояснюється рисунком, де 1, 2, 3 – вихідні LDR-зображення, сформовані в результаті брекетингу експозиції або брекетингу світлочутливості приймача оптичного випромінювання; 4 – крива відгуку приймача оптичного випромінювання $g(Z_{ij})$, подана у вигляді $Z_{LDR}(\log H)$; Z_{ij} – число, відповідне точці i LDR-зображення j ; 5 – блок розрахунку яскравості об'єкта фотографування для точки i LDR-зображення j ; 6 – блок розрахунку параметра, що визначає ефективність зйомки для точки i LDR-зображення j ; 7 – блок розрахунку вагової функції для точки i LDR-зображення j ; 8 – блок розрахунку реальної яскравості об'єкта фотографування в точці i ; 9 – крива відгуку результуючо-



Ілюстрація роботи запропонованого алгоритму формування HDR-зображення

го зображення; Z_i^{HDR} – число, відповідне точці i на HDR-зображенні; 10 – результуюче HDR-зображення (для зручності зорового сприйняття до зображення застосована процедура тонової обробки).

З використанням брекетингу експозиції або брекетингу світлочутливості приймача оптичного випромінювання отримують кілька зображень одного і того ж об'єкта фотографування (цифрові фотографії 1, 2, ..., p).

Після цього визначають криву відгуку фотографічної системи $g(Z_{ij})$ (нелінійну функцію або сімейство функцій, які зв'язують цифрове значення кожного пікселя зображення зі значенням експозиції світлочутливої поверхні матриці, відповідним даному пікселю, за різних значень світлочутливості). Крива відгуку може бути отримана експериментально або розрахована аналітично. На рисунку крива відгуку подана у вигляді залежності $Z_{\text{LDR}}(\log H)$ за фіксованого значення світлочутливості. Далі, використовуючи дані про параметри камери й умови зйомки, з урахуванням кривої відгуку $g(Z_{ij})$, цифрове значення кожного пікселя кожного кадру Z_{ij} перераховується в значення,

пропорційне реальній яскравості ділянки об'єкта фотографування $L(i, j)$, відповідні конкретному пікселю. Порядок визначення значень реальної яскравості з використанням кривої відгуку фотографічної камери не відрізняється від порядку, запропонованого в [11].

Одночасно з цим для кожного пікселя кожного цифрового зображення розраховується або вимірюється значення параметра, що визначає ефективність фотозйомки $R(i, j)$, використовуючи інформацію від сукупності пікселів ділянки зображення, що містить необхідний піксель, і віддалених від нього на заданій відстані. У випадку, якщо як параметр $R(i, j)$ використовується роздільна здатність або інформаційна ємність локальної частини кадру, то для її розрахунку можуть використовуватися значення функцій передачі модуляції і шумові характеристики ланок, що беруть участь у побудові зображення.

Одночасно зі знаходженням параметра $R(i, j)$, що визначає ефективність фотозйомки, для кожного пікселя кожного цифрового зображення розраховується ваговий коефіцієнт [12]

$$\psi(i, j) = \alpha \cdot R(i, j),$$

де i – номер пікселя у зображенні, j – номер серії цифрового зображення, α – коефіцієнт пропорційності. Коефіцієнт пропорційності α (в загальному випадку нелінійний) вибирається, виходячи з вимог до параметрів шуму і різкості підсумкового зображення.

Далі, з метою підвищення достовірності отримуваних результатів, зменшення ефекту артефактів і зниження рівня шумів, для ділянок об'єкта фотографування, відповідних кожному пікселю, проводиться розрахунок значення відповідної йому яскравості об'єкта фотографування [12]:

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

де p – число зображень у серії, після чого з відцифрованих значень $L_0(i)$ формують результуюче зображення.

Висновки

Розроблено алгоритм формування цифрового HDR-зображення на основі розрахунку і реєстрації значень реальної яскравості ділянок об'єкта фотографування, відповідних кожному пікселю зображення. Розрахунок реальної яскравості ділянок об'єкта фотографування здійснюється в результаті усереднення даних, отриманих із серії LDR-зображень того самого об'єкта фотографування, сформованих у результаті брекетингу експозиції або брекетингу світлочутливості приймача оптичного випромінювання. При усередненні даних найбільш інформативні елементи кожного зображення беруться з максимальним ваговим коефіцієнтом, що визначає високу якість результуючого зображення.

Подальші дослідження пов'язані з питаннями алгоритмічного забезпечення процесу отримання зображень із великим діапазоном яскравості з рухомих носіїв.

1. Подольн А.П., Пудрий С.В. Экспонетрические системы аэрофотоаппаратов. – К.: КИ ВВС, 1994. – 164 с.
2. Колобродов В.Г., Пивторак Д.О. Комбінований спосіб реєстрації зображення об'єкта з широким динамічним діапазоном яскравостей // Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2009. – № 4. – С. 97–101.
3. Вестон К. Экспозиция в цифровой фотосъемке: осваиваем новое поколение цифровых камер. – М.: АРТ-Родник, 2008. – 292 с.
4. J. D'Carlo and B. Wandell, "Rendering high dynamic range images", Proc. SPIE: Image Sensors, vol. 3965, pp. 392–401, 2000.
5. Хук П. Цифровая фотография. – М.: Аст-Астрель, 2007. – 192 с.
6. E. Reinhard et al., High Dynamic Range Imaging: Acquisition, Display, and Image-Based Lighting. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers Inc., 2005, 496 p.
7. Пивторак Д.А. Алгоритм обработки LDR изображений, полученных при различных уровнях экспозиции // Тезисы докл. 3-й Междунар. студ. научно-техн. конф. "Новые направления развития приборостроения", 21–23 апреля 2010, Минск. – Минск: БНТУ, 2010. – С. 203.
8. Колобродов В.Г., Пивторак Д.А. Особенности регистрации изображения с большим диапазоном яркости цифровой фотосъемке в реальных условиях // Тезисы доп. XI Міжнар. наук.-техн. конф. "Приладобудування 2012: стан і перспективи", 24–25 квітня 2012, Київ. – К.: НТУУ "КПІ", 2012. – С. 65.
9. Колобродов В.Г., Пивторак Д.О. Алгоритм підвищення якості результуючого зображення з використанням брекетингу експозиції // Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2010. – № 5. – С. 141–144.
10. D.O. Pivtorak and V.G. Kolobrodov, "Method of Obtaining High Dynamic Range Images", in Scientific Works of 13th Int. Young Sci. Conf. "Optics and High Technology Material Science SPO 2012", Ukraine, Kyiv, 25–28 October 2012, p. 185.
11. P.E. Debevec and J. Malik, "Recovering high dynamic range radiance maps from photographs", in Proc. SIGGRAPH 97, California, 1997, pp. 369–378.
12. Спосіб одержання цифрового зображення з великим динамічним діапазоном: Патент України № 98750: МПК G06T 5/50 / В.Г. Колобродов, Д.О. Пивторак, О.П. Подольн. – № а201111367: Заявлено 26.09.2011: Опубл. 10.06.2012, Бюл. № 11.