

ЗАСТОСУВАННЯ СТЕКІНГУ ДЛЯ ОТРИМАННЯ НОВИХ РЕЗУЛЬТАТІВ У ЦИФРОВІЙ ФОТОГРАФІЇ

Бобарчук О. А., к.т.н., доцент кафедри КММТ
Національний авіаційний університет, м.Київ

Анотація. Цифрова фотографія оперує з цифровими даними, здійснює різні обчислення над ними для отримання необхідних результатів та за своєю основою є обчислювальною. Головним методом отримання первинних зображень для обчислювальної фотографії є стекінг. Розглянуті деякі основні методи обробки цифрових зображень, засновані на стекінгу, які використовуються як у традиційній цифровій фотографії, так і

у смартфонах. Ці методи апробовані у курсах «Технологія фотореєстраційних процесів» та «Цифрова обробка аудіо- та відеоінформації».

Ключові слова: цифрова фотографія, цифрова камера, обчислювальна фотографія, цифрова обробка зображень, роздільна здатність, стекінг, широкий динамічний діапазон, *HDR*, *HDR+*, тонове відображення, зображення з низьким освітленням, *Night Sight*, придушення цифрових шумів, *Pixel Shifting*.

Вступ. Обчислювальна фотографія — це будь-які техніки захоплення й обробки зображень, де замість оптичних перетворень використовуються цифрові обчислення [1], набір методів комп'ютерної візуалізації, що поліпшують або розширюють можливості цифрової фотографії, при використанні яких виходить фотографія, що не могла б технічно бути знята на дану камеру традиційним методом [2, 3]. Основним методом отримання первинних зображень для обчислювальної фотографії є стекінг.

Стекінг у традиційній цифровій фотографії та смартфонах. Технологія стекінгу — складання кількох кадрів одного й того ж або дещо видозміненого сюжету – відома давно, ще з часів аналогової фотографії. По суті, стекінг – це мультиекспонування, яке націлене на вирішення як технічних, так і творчих завдань, при яких, змінюючи один з параметрів камери (експозицію, фокус, положення) і склеюючи кадри певним чином, отримуємо результат, який не могли зняти одним кадром.

Інша назва стекінгу — епсілон-фотографія. Термін запропонований на початку 2000-х років професором Рамешем Раскаром [4, 5]. Технологія розроблена як альтернатива пленоптичній фотографії (фіксації світлового поля) [6] і, на відміну від останньої, не потребує спеціалізованого обладнання. Усі методи епсілон-фотографії базуються на використанні звичайного фотофіксаційного обладнання, але вимагають застосування різних, відносно складних, обчислювальних методів обробки цифрових зображень.

Приклади епсілон-фотографії включають фокус-стекінг, фотографування з широким динамічним діапазоном (*High Dynamic Range* — *HDR*), метод вдалих експозицій, багатокадрові панорамні зшивання і конфокальне стерео [7]. Усі вищезгадані методи обробки зображень засновані на тому, що кілька зображень захоплюються для створення складеного зображення вищої якості, наприклад, з багатшою інформацією про колір, ширшим полем зору, більш точною картою глибини різкості, меншим шумом/розмиттям та більшою роздільною здатністю. Сьогодні на епсілон-фотографії (стекінгу) базуються 90% всіх інновацій у мобільних камерах.

Стекінг у смартфонах — це спосіб обійти маленький розмір матриці цифрової камери та несвітлосильний об'єктив. Уся різниця між обчислювальною фотографією у смартфонах і *Photoshop* полягає у тому, що останньому потрібна спеціально навчена людина, а смартфону досить нейромережі, яку навчили створювати «шедеври».

Камера в сучасному смартфоні починає фотографувати відразу, як тільки відкривається її додаток, щоб постійно передавати зображення на екран. Однак, крім передачі на екран, вона зберігає кадри з високою роздільною здатністю ще декілька секунд у

власному циклічному буфері. Коли натискається кнопка «сфотографувати», фото насправді вже знято, камера просто бере останнє зображення з буфера.

Стекінг у часі. Є кілька видів стекінгу, при яких параметри й умови зйомки усіх кадрів однакові, але між фотографіями в серії існує різниця в часі зйомки [8]. Додавання кадрів серійної зйомки (інша назва — інтервальна зйомка, *Time Lapse*) виконується для отримання розкадрування фаз руху об'єкта (наприклад, у спорті). До цього ж типу стекінгу, відтак, можна віднести й складання кадрів серійної зйомки для отримання ефекту треків зірок на небі та ефекту зйомки із супердовгими витримками [9].

Під час додавання кадрів для збільшення експозиції складаються значення яскравостей пікселів багатьох фотографій. Наприклад, декілька кадрів з короткою витримкою можна скласти для отримання аналога довгої (сумарної) витримки. При цьому кількість динамічних шумів буде меншою, ніж при зйомці з аналогічною одиночною безперервною витримкою [10].

Стекінг для HDR, HDR+ та Night Sight. Фотографам пейзажної та архітектурно-інтер'єрної зйомки добре відомий стекінг з брекетінгом експозиції, який дозволяє реалізувати HDR. Якщо сцена дуже контрастна і не вміщується в діапазон яскравостей, що реєструються фотоматрицею, то знімається декілька кадрів з різною експозицією щодо вихідної точки відліку, які складаються в зображення з широким динамічним діапазоном. Далі така фотографія може бути скомпресована різними способами (наприклад, за рахунок тонового відображення) до нормального динамічного діапазону, адекватного пристрою виведення (монітор, принтер), але зображення вже зберігає увесь діапазон яскравостей сцени [11, 12]. Недоліком HDR з брекетінгом експозиції є складність його застосування при недостатньому освітленні. Тому традиційний стекінг для HDR з брекетінгом експозиції доцільно використовувати лише в умовах достатнього освітлення із світлочутливістю камери ISO, близькою до базового значення. У фотокамерах вищого рівня (після 2017 року) розширення динамічного діапазону добре проявляється з одного RAW знімка.

У смартфонах з їхніми маленькими матрицями широкого динамічного діапазону домогтися неможливо, але можливо зробити десяток знімків, правильно їх з'єднати та отримати очікуваний результат. У *iPhone, Pixel i Galaxy* режим HDR включається автоматично, коли алгоритм всередині камери визначає, що об'єкт зйомки контрастний у сонячний день. Але при поганому освітленні HDR з брекетінгом експозиції практично не працює.

Для вирішення проблеми зі світлом у 2013 році *Google* показав інший підхід до HDR у смартфоні *Nexus*. Він називається HDR+ і використовує стекінг у часі [13, 14]. Працює HDR+ досить просто: визначивши, що зйомка відбувається у темряві, камера вивантажує з буфера 8-15 останніх фотографій у RAW, накладає їх одна на одну. Таким чином, алгоритм збирає більше інформації про темні ділянки кадру, щоб мінімізувати

шуми. Додавання кадрів, знятих з однієї точки, дає ефект довгої витримки. Експозиції десятків кадрів додаються, помилки, що виникли на одному кадрі, мінімізуються на інших [15].

Однак залишалося ще вирішити проблему автоматичної кольорокорекції. Технологія *Night Sight* [16] стала першим способом подолання істотного недоліку цифрової фотографії — змішаного балансу білого. Смартфон зіставляє джерела з різною температурою світла й підганяє їх один до одного. По суті — це є автоматизація етапу кольорокорекції. Також в *Night Sight* використовується обчислення вектору руху об'єктів у кадрі, щоб нормалізувати змазані зображення, які обов'язково проявляться на довгій витримці [17]. У цьому випадку смартфон може взяти чіткі частини з інших кадрів і скласти різкий кадр.

Фокус-стекинг. Тим, хто займається макрозйомкою, відомий стекинг з брекетінгом по фокусуванню (фокус-стекинг) [18]. Для реалізації цієї техніки найчастіше роблять декілька знімків однієї й тієї ж сцени, при кожному знімку об'єктив фокусується на окремій частині об'єкта. Потім використовують *Helicon Focus* [19], професійну програму для фотографів, призначену для стекингу по фокусу, що розширює глибину різкості фотографій, щоб об'єднати всі різкі області. Це дозволяє створити абсолютно чітке зображення.

У смартфони фокус-стекинг прийшов з макрозйомки, де маленька глибина різкості завжди була проблемою. Щоб увесь об'єкт був у фокусі, доводиться робити кілька кадрів із зсувом фокусу уперед-назад, щоб потім зшити їх в один різкий кадр. У 2013 році з'явилися *Nokia Lumia 1020* з «*Refocus App*», у 2014-му — *Samsung Galaxy S5* з режимом «*Selective Focus*», які працювали за такою схемою: після натискання на кнопку вони швидко робили три фотографії — одну з «нормальним» фокусом, другу — із зсунутим вперед, а третю — зі зсунутим назад. Програма вирівнювала кадри й дозволяла вибрати один з них, що підносилося як «справжнє» управління фокусом [20].

Стекинг для зменшення шумів і підвищення деталізації. Трапляються ситуації, коли умови освітлення не найкращі, штатива немає, а фотографію зробити потрібно. Зазвичай доводиться збільшувати *ISO*, щоб отримати досить прийнятну витримку, але шумів на знімку при цьому буде багато.

На допомогу приходять серійна зйомка і після цього — стекова обробка у фоторедакторі, наприклад, у *Photoshop*. Достатньо перевести апарат у режим серійної зйомки та зробити серію знімків з десятка кадрів. Сучасні бездзеркальні камери мають швидкість, яка дозволяє за секунду отримати 8-10 кадрів. Для стекингу цього цілком достатньо, і якщо знімати з рук, то сам кадр в цілому й окремі об'єкти не встигнуть сильно переміститися. Значення яскравості кожного пікселя обчислюється шляхом усереднення значень його яскравості на всіх кадрах серійної зйомки. За рахунок цього видимі шуми зменшуються, і навіть зростає деталізація [21]. Якщо замість усереднення використати режим медіанної обробки, то можна, наприклад, без додаткового програмного

забезпечення повністю «очистити» вулицю від перехожих або навіть рухомих машин. При цьому повинна бути зроблена достатня кількість кадрів, щоб на кожну ділянку вулиці припадав хоча б один кадр, де на цій ділянці немає машини або людини.

Панорамний стекінг для збільшення роздільної здатності. Єдиний корисний спосіб застосування панорами — отримання фотографії більшої роздільної здатності, ніж дозволяє матриця камери, шляхом склеювання декількох кадрів. Фотографи давно використовують різне обладнання та програмне забезпечення для створення фотографій з суперроздільною здатністю, коли трохи зміщені фото доповнюють один одного між пікселів. Таким чином можна отримати зображення у сотні гігапікселів, якщо його треба роздрукувати на великому рекламному плакаті [22].

Стекінг для *Pixel Shifting*. Смартфони завжди знаходяться в русі, природним наслідком є тремтіння рук при зйомці. Така особливість лягла в основу реалізації суперроздільної здатності у смартфонах.

Коли світла замало або деталі об'єкта зовсім крихітні, втрачається багато інформації, фільтр Байера відсікає фотони з небажаною довжиною хвилі. Тому й запропонували робити *Pixel Shifting* — зміщувати матрицю на 1 сенсель вгору-вниз-праворуч-ліворуч, щоб зібрати усі фотони [23]. Інтерполяція виконується не по сусіднім сенселям, а за чотирма значеннями самого себе. Це дозволяє зібрати більше інформації про колір кожного пікселя, а значить зменшити шуми, збільшити різкість і підняти роздільну здатність, не збільшуючи фізично число мегапікселів матриці.

Pixel Shifting реалізований в останніх версіях *Google Pixel* і називається *Super Res Zoom*. Він включається завжди, коли використовується цифровий зум на смартфоні [24]. В *iPhone 11* з'явилася технологія *Deep Fusion*, яка робить те ж саме для поліпшення різкості.

Висновки. У класичній аналоговій фотографії роль технологій завжди була вище, ніж в інших видах мистецтва, але тепер у еру цифрової фотографії технічними речами займаються інженери та програмісти. Фотографи, яким важливі не пікселі, а зображення, отримали більш широкі творчі можливості. Нині смартфони фотографують не гірше, ніж професійні цифрові фотокамери.

Усі розглянуті методи апробовані у навчальних курсах «Технологія фотореєстраційних процесів» та «Цифрова обробка аудіо- та відеоінформації».

Список використаних джерел

1. Computational photography [Електронний ресурс]: Стаття // Wikipedia / - Режим доступу до ресурсу: https://en.wikipedia.org/wiki/Computational_photography.
2. Computational Photography / Ramesh Raskar, Jack Tumblin, Ankit Mohan, Amit Agrawal, Yuanzen Li [Електронний ресурс]: Стаття // State of the Art Report / EUROGRAPHICS 2006 / - Режим доступу до ресурсу: https://www.academia.edu/2743093/Computational_photography.
3. Jaewon Kim. Computational Photography: Principles and Practice [Електронний ресурс]: Конспект лекцій // Korea Institute of Science and Technology / – Режим доступу до ресурсу: http://alumni.media.mit.edu/~jaewonk/Publications/Comp_LectureNote_JaewonKim.pdf.

4. Epsilon photography [Электронный ресурс]: Стаття // Wikipedia / - Режим доступу до ресурсу: https://en.wikipedia.org/wiki/Epsilon_photography.
5. Ramesh Raskar. Computational photography: Epsilon to coded photography [Электронный ресурс]: Стаття // Media Laboratory, MIT, Cambridge / - Режим доступу до ресурсу: <https://web.media.mit.edu/~raskar/Talks/ETCVparis08/raskarCompPhotoEpsilonCodedETVC08paper.pdf>.
6. Light field camera [Электронный ресурс]: Стаття // Wikipedia / - Режим доступу до ресурсу: https://en.wikipedia.org/wiki/Light_field_camera.
7. Samuel W. Hasinoff, Kiriakos N. Kutulakos. Confocal Stereo [Электронный ресурс]: Стаття // International Journal of Computer Vision 81(1), July 2006, pp.82-104. / - Режим доступу до ресурсу: <http://dx.doi.org/10.1007/s11263-008-0164-2>.
8. Kayleigh Brindley. The Ultimate Guide to Creating a Time-Lapse Video Imaging [Электронный ресурс]: Стаття // SLR Lounge / - Режим доступу до ресурсу: <https://www.slr lounge.com/ultimate-guide-creating-time-lapse-video/>.
9. Як зняти таймлапс (Time Lapse) на GoPro [Электронный ресурс]: Стаття // WAZZA / - Режим доступу до ресурсу: <https://blog.wazza.com.ua/action-kamery/sovety-po-semke/kak-snyat-time-lapse-na-gopro/>.
10. Long-exposure photography [Электронный ресурс]: Стаття // Wikipedia / - Режим доступу до ресурсу: https://en.wikipedia.org/wiki/Long-exposure_photography.
11. Gradient Domain High Dynamic Range Compression / Raanan Fattal, Dani Lischinski, Michael Werman [Электронный ресурс]: Стаття // ACM Transactions on Graphics Volume 21 Issue 3 July 2002 pp 249–256/ - Режим доступу до ресурсу: <https://doi.org/10.1145/566654.566573>.
12. Greg Ward. High Dynamic Range Image Encodings [Электронный ресурс] - Режим доступу до ресурсу: https://booksite.elsevier.com/samplechapters/9780123749147/02~Chapter_3.pdf.
13. Burst photography for high dynamic range and low-light imaging on mobile cameras / Sam Hasinoff, Dillon Sharlet, Ryan Geiss, Andrew Adams, Jonathan T. Barron, Florian Kainz, Jiawen Chen, Marc Levoy [Электронный ресурс]: Стаття // ACM Transactions on Graphics Volume 35 Issue 6 November 2016 Article No.: 192, pp 1–12. / - Режим доступу до ресурсу: <https://doi.org/10.1145/2980179.2980254>.
14. Marc Levoy. HDR+: Low Light and High Dynamic Range photography in the Google Camera App [Электронный ресурс]: Стаття // Google AI Blog, October 27, 2014 / - Режим доступу до ресурсу: <https://ai.googleblog.com/2014/10/hdr-low-light-and-high-dynamic-range.html>.
15. Sam Hasinoff. Introducing the HDR+ Burst Photography Dataset [Электронный ресурс]: Стаття // Google AI Blog, February 12, 2018 / - Режим доступу до ресурсу: <https://ai.googleblog.com/2018/02/introducing-hdr-burst-photography.html>.
16. Marc Levoy, Yael Pritch. Night Sight: Seeing in the Dark on Pixel Phones [Электронный ресурс]: Стаття // Google AI Blog, November 14, 2018 / - Режим доступу до ресурсу: <https://ai.googleblog.com/2018/11/night-sight-seeing-in-dark-on-pixel.html>.
17. Alexander Schifffhauer. See the light with Night Sight [Электронный ресурс]: Стаття // Google Pixel Blog, November 14, 2018/ - Режим доступу до ресурсу: <https://www.blog.google/products/pixel/see-light-night-sight/>.
18. Maximilian Simson. Beginner's Guide to Focus Stacking for Macro Photography [Электронный ресурс]: Стаття // PetaPixel / - Режим доступу до ресурсу: <https://petapixel.com/2019/10/02/beginners-guide-to-focus-stacking-for-macro-photography/>.
19. Intelligent Software For Photographers [Электронный ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://www.heliconsoft.com/>.
20. Alex Todd. Focus shifting explained and how to add it to your shots [Электронный ресурс]: Стаття // Recombu, May 27, 2014/ - Режим доступу до ресурсу: https://recombu.com/mobile/article/focus-shifting-explained_m20454-html.
21. Дмитрий Новак. Разные виды стекинга. Уменьшение шумов с помощью стекинга средствами Photoshop [Электронный ресурс]: Стаття / - Режим доступу до ресурсу: <https://dmitry->

novak.livejournal.com/162697.html.

22. Ian Norman. A Practical Guide to Creating Superresolution Photos with Photoshop [Электронный ресурс]: Стаття // Petapixel /– Режим доступу до ресурсу: <https://petapixel.com/2015/02/21/a-practical-guide-to-creating-superresolution-photos-with-photoshop/>.

23. Handheld multi-frame super-resolution / Bartłomiej Wronski, Ignacio Garcia-Dorado, Manfred Ernst, Damien Kelly, Michael Krainin, Chia-Kai Liang, Marc Levoy, Peyman Milanfar [Электронный ресурс]: Стаття // ACM Transactions on Graphics Volume 38 Issue 4 August 2019 Article No.: 28, pp 1–18. / - Режим доступу до ресурсу: <https://doi.org/10.1145/3306346.3323024>.

24. Abner Li. Google AI details the Pixel 3's Super Res Zoom and notes best practices [Электронный ресурс]: Стаття // 9to5Google, October 15, 2018/ - Режим доступу до ресурсу: <https://9to5google.com/2018/10/15/google-pixel-3-super-res-zoom/>.