

Адрес статьи / To link this article: <http://cat.itmo.ru/ru/2023/v8-i4/444>

Снижение проявления визуальных артефактов при использовании трехмерных таблиц преобразования цветов с учетом расширенного динамического диапазона

М. А. Паук, А. В. Меженин

Университет ИТМО, Россия

maria.pauk@mail.ru, mejenin@mail.ru

Аннотация. В области компьютерной обработки визуальных материалов с использованием таблиц преобразования цветов (далее LUT — Look Up Table) при их применении возможно возникновение визуальных артефактов. Данная работа посвящена исследованию методов, которые позволят использовать 3D-LUT для HDR (High Dynamic Range, технология расширенного динамического диапазона) изображений с минимальным проявлением визуальных артефактов. Были созданы LUT-ы в программном обеспечении 3D LUT Creator, а затем были изменены значения цветов внутри каждого с помощью программы, написанной на основе существующего алгоритма [1]. В ходе исследования проверялось, насколько применение LUT-ов разного размера (а конкретно — размером 8, 16 и 25 по каждой оси цветового пространства RGB) к изображению влияет на его восприятие зрителем (респондентом) и возможное проявление визуальных артефактов. Размер выборки составил 45 человек. Респондентам было предложено выбрать из четырех групп тестовых изображений одно изображение, которое лучше всего, по их мнению, справилось с задачей (затемнение или осветление изображения, поскольку в них чаще всего и проявляются уязвимости LUT), а также оценить каждое изображение в группе по отдельности. В каждой группе проверялась гипотеза о влиянии размера LUT на выбор — респонденты будут чаще всего выбирать LUT размером 25x25x25 (далее 25); поскольку, чем выше размер LUT, тем реже появляются визуальные артефакты. Основным целевым показателем был выбор между тремя изображениями, для каждой группы он рассчитывался отдельно и был представлен в виде дихотомической шкалы, где 0 — выбран LUT не размером 25 и 1 — выбран LUT размером 25. Результатом исследования стало подтверждение гипотез во всех группах изображений (считаются статистически значимыми).

Ключевые слова: цветокоррекция, LUT, обработка изображений

1. Введение

В современном производстве любого визуального материала (например, компьютерной графики в игровой или киноиндустриях) активно используется этап пост-продакшена. Здесь применяется большой спектр разных инструментов и технологий для создания графики, которая бы одновременно завораживала и была визуально приятна. В качестве одного из таких инструментов выступают таблицы преобразований LUT (Look-Up-Table), которые представляют

собой таблицы фиксированных числовых значений, которые можно применить к видеоматериалу, чтобы изменить его внешнюю составляющую. С ее помощью можно корректировать контрастность, цветовые характеристики и так далее. LUT может быть как одномерной таблицей (каждому входному значению соответствует определенный выходной результат), так и более сложной — трехмерной (такую можно применять к цветам в системе координат).

С развитием компьютерных технологий отображения широкое распространение получила технология расширения динамического диапазона — HDR (High Dynamic Range). Она позволила вынести на новый уровень качество фото и видеоматериала на экранах — точность передачи снимаемыми устройствами (камерой) тона снимаемых сцен, обеспечивая гораздо более яркие светлые участки и улучшенную прорисовку деталей на темных участках [3].

В свою очередь использование 3-D-LookUp-Tables (3D-LUT) во время кинопроизводства и пост-продакшна в любой работе с видеоматериалом показало свою гибкость и скорость при выполнении преобразований цвета или при стремлении придать особый вид снятой сцене. Поскольку все большее число мониторов в настоящее время поддерживают HDR, а сама технология с каждым годом поддерживает все более высокие стандарты и рекомендации, необходимо контролировать, чтобы при обработке видеоматериала с помощью 3D-LUT не было проявления визуальных артефактов.

Визуальные артефакты представляют собой ошибки в изображениях, которые могут визуально проявляются в виде искажений в цвете, появлении посторонних объектов в виде полос, неестественной резкости и т.д. Чтобы зритель мог воспринимать видео без каких-либо визуальных недостатков, на этапах обработки и пост-продакшена при работе с видеоматериалом необходимо, чтобы готовый продукт не содержал в себе какие-либо видимые артефакты.

2. Существующий метод улучшения работы 3D-LUT для изображений

2.1. Предпосылки применения метода

Авторы исследования, Монга и Бала предложили два способа оптимизации 3D-LUT, т.е. удаление однородного (uniform) ограничения решетки в LUT и допущение небольших ошибок в значениях, хранящихся в вершинах, при условии, что это уменьшает общие ошибки в соседних кубах [4].

Помимо этого, в более ранней работе Канга, затрагивающей общую специфику использования технологии цвета в устройствах для работы с изображениями, объясняется, как упростить интерполяцию. В неоднородной (non-uniform) решетке при неравномерном квантовании, вместо работы с неоднородными размерами куба и линейным вводом, перед интерполяцией к изображению применяется искажение, и 3D-LUT поддерживается однородным [4]. Этот подход требует трех дополнительных 1D-LUT (по одной на каждый цветовой канал), но значительно упрощает интерполяцию.

2.2. Реализация метода и результаты

Авторы статьи [1] пришли к идее оптимизировать 3D-LUT путем неравномерного распределения его вершин, чтобы уменьшить общую ошибку при заданном размере LUT. Другой вариант — уменьшить размер LUT при максимальном ограничении ошибки, совместив в себе подходы, описанные в статьях [3, 4]. Был создан алгоритм, преобразующий цветовые координаты для каждого уникального пикселя, тем самым меняющий структуру LUT.

Используя 3D-LUTы, оптимизированные данным алгоритмом, и исходные 3D-LUTы на дата-сете изображений четырех типов (насыщенные, затемненные, яркие и с естественным светом), исследователи выяснили, что при сравнении изначальных однородных LUT-ов и оптимизированных LUT-ов наилучшие показатели были у 3D-LUTов, применённых к затемненным изображениям и с естественным светом; сравнивались результаты с помощью переменной *mean3std*. *Mean3std* — это величина, рассчитанная с учетом $JND=1$, цветового различия (color difference) и цветовым пространством Dolby [1]. Главным результатом являлось то, что 3D-LUTы меньшего размера показали более качественный результат в работе с цветом, чем образцы большего размера.

Рассмотренные решения были использованы для реализации предлагаемого алгоритма. В процессе реализации была произведена оптимизация, которая позволила повысить качество получаемых изображений.

3. Эксперимент

3.1. Подготовка к проведению эксперимента

Для эксперимента и сбора данных было необходимо подготовить дата-сет из изображений. Тестовые изображения, ставшие основой дата-сета были взяты с битностью 32, поскольку это соответствует HDR изображениям. К ним были применены LUT-ы с разным числом точек по каждой оси (что и считается размером LUT). Данное число уменьшалось с целью сокращения размера тестовых изображений и снижения количества сопоставляемых цветов изображения со значениями, хранящимися в LUT, последнее было необходимо, чтобы также посмотреть, приведет ли уменьшение числа точек к появлению заметных визуальных артефактов. Всего было создано четыре разных LUT (дата-сет строился на основе четырех изображений, для каждого была сформирована собственная таблица преобразования цветов), для каждого использованы четыре разновидности — LUT размером 8, 16, 25 и 32 точки по каждой оси RGB. LUT-ы были созданы вручную, используя программное обеспечение 3D LUT CREATOR, где присутствуют все необходимые настройки для создания собственной таблицы преобразования цветов (рис. 1).

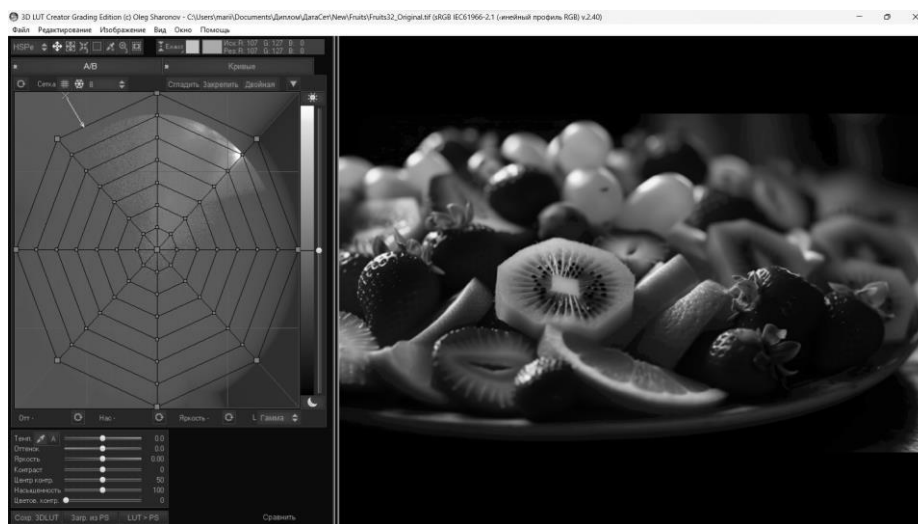


Рис. 1. Программное средство для работы с LUT — 3D LUT CREATOR

Помимо разных размеров LUT были сформированы разные сценарии их использования для изображений. Учитывались свойства тестовых изображений — HDR изображения имеют определенную уязвимость при обработке, особенно она заметна в светлых и темных местах. Таким образом, были взяты следующие сценарии:

1. Для затемненного изображения применяется LUT, который его осветляет.
2. Для светлого изображения применяется LUT, который его затемняет.

Для обоих случаев представлены также два подсценария — объекты на изображении находятся вдалеке или небольшого размера и объекты крупного размера (сфотографированы крупным планом). Изображения дата-сета представлены на рисунке 2.

Исходя из свойства LU, состоящего в том, что чем больше его размер, тем лучше будет цветопередача и меньше искажений при обработке, было необходимо установить на практике, играет ли какую-то роль размер LUT в выборе респондентов и видна ли им разница между обработанными изображениями. Для этого были сформулирована гипотеза для каждой группы: в качестве наилучшего решения для конкретной задачи (осветление/затемнение) респонденты будут чаще всего выбирать изображение с наивысшим размером таблицы преобразования (25x25x25).



Рис. 2. Дата-сет HDR изображений эксперимента

3.2. План опроса для сбора данных

Был разработан предварительный план опроса, где собирались данные. Он содержит в себе несколько блоков вопросов:

- [1] Блок общих вопросов. Задаются персональные вопросы (пол, возраст, с какого устройства проходит респондент опрос, увлечение фотосъемкой и знание респондента о LUT) для учета внешних факторов на результаты эксперимента.
- [2] Основной блок вопросов о группе изображений. Респонденты сравнивают между собой изображения внутри группы, отмечают различие между всеми изображениями и оценку каждого изображения по шкале Ликерта. Главный вопрос звучит следующим образом: «Выберите одно из трех изображений, которое, по вашему мнению, наилучшим образом справилось с его затемнением / осветлением». По нему в большей степени и проверяется основная гипотеза. Также респондентам предложено оценить разницу между изображением-эталоном и выбранным изображением.
- [3] Блок вопросов о проведении опроса.

Стоит также отметить, что изображения с разными размерами LUT были закодированы. Изображение с LUT размером 8 представляет из себя четырехзначное число, в котором сумма чисел равна 7 (например, в первой группе изображений закодировано как 1231). Аналогичная операция была произведена для изображений с другими размерами LUT: для LUT размером 16 число при сложении было 8, для LUT размером 25 — число 9. Предложенные изображения также были перемешаны и показывались для респондентов в разном порядке.

3.3. Работа над алгоритмом и программной реализацией

Поскольку исследование затрагивает изображения расширенного динамического диапазона HDR, необходимо было в первую очередь преобразовать цветовые координаты для каждого цвета из цветового пространства RGB в цветовое пространство ICtSp. ICtSp — это цветовое пространство, используемое как часть контура цветного изображения в системах видео и цифровой фотографии для изображений с высоким динамическим диапазоном (HDR) и широкой цветовой гаммой (WCG), оно описано в Рек. 2100 [5]. I — компонент яркости, закодированный с использованием нелинейности квантователей Perceptual (PQ) или (HLG) — гибридный логарифмический гамма. Компоненты CT и CP — сине-желтые (названные из тританопии) и красно-зеленые (названные из протанопии) компоненты цветности. LMS, в свою очередь, также является цветовым пространством. Коэффициенты L' , M' и S' рассчитываются с помощью EOTF (отвечает за показатели яркости в изображении). После преобразования цветового пространства была посчитана метрика точности передачи цвета. Программная реализация алгоритма была

к изображению. На рисунке 5 представлены изображения после применения не обработанной таблицей LUT и таблицей преобразованной предлагаемым алгоритмом.



Рис. 5. Сравнение фрагмента изображения до и после изменения LUT алгоритмом

3.4. Результаты эксперимента

В эксперименте приняло участие 45 респондентов. Больше половины респондентов занимается фотосъемкой (в сумме 62%), но большая часть респондентов не знакома с понятием LUT (80%).

По полученным данным были построены круговые диаграммы, где можно увидеть, что LUT размером 25 действительно выбирался чаще всего (рис. 6–9), а также столбчатая диаграмма (рис. 10), где отображена частота выбора изображений с LUT 25 и LUT других размеров среди всех четырех групп. Значит, LUT размером 25 действительно выбирается чаще всего и изображение с ним считается наиболее успешным.

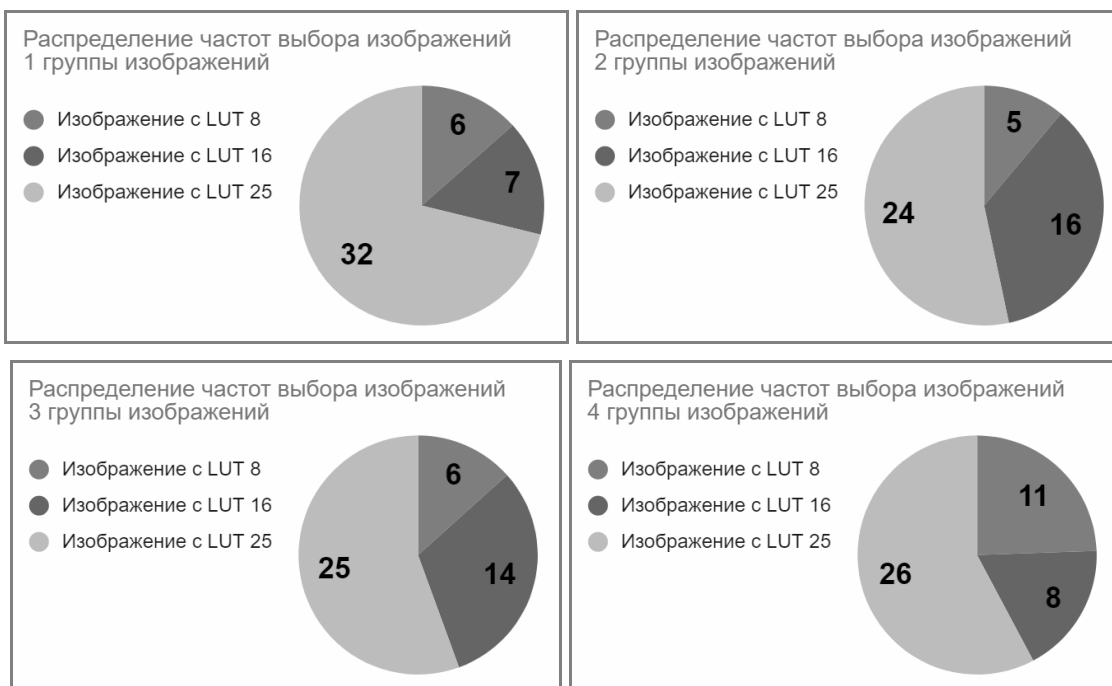


Рис. 6-9. Распределение выбранных изображений по четырем группам

На диаграмме (рис. 10) представлено количество выбранных респондентами изображений с LUT 25 и LUT других размеров (8 и 16).

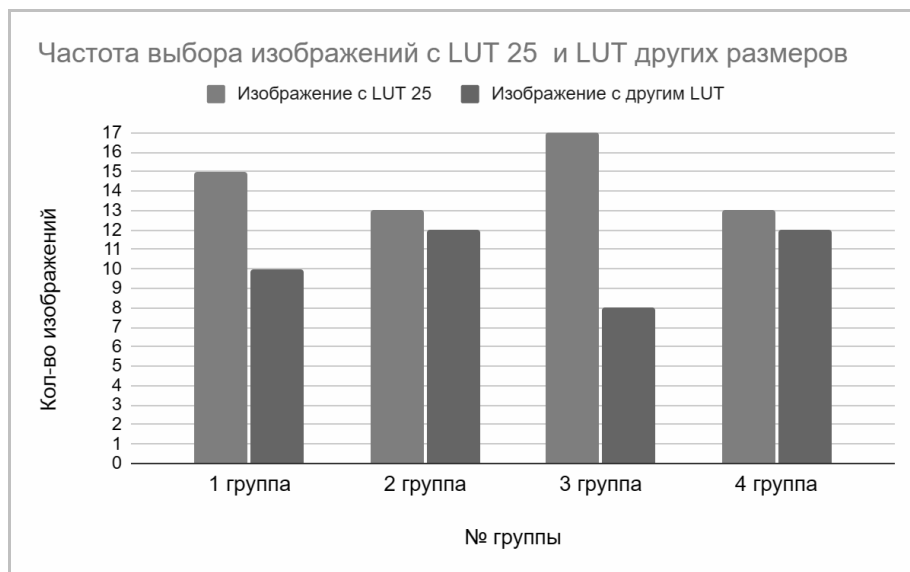


Рис. 10. Частота выбора изображений респондентами

Заключение

Таким образом, после обработки данных с помощью одновыборочного биномиального теста для первой группы изображений $p\text{-value} = 0,0002$, $\alpha = 0,83\%$; для второй группы $p\text{-value} = 0,29$, $\alpha = 1,25\%$; для третьей группы $p\text{-value} = 0,56$, $\alpha = 1,67\%$; для четвертой группы $p\text{-value} = 0,03$, $\alpha = 1\%$. Во всех группах гипотезы считаются статистически значимыми. Проверялись также две гипотезы о корреляции между знанием респондентов о LUT и разницей, которую они заметили между эталонным изображением и выбранным изображением для 1-ой и 3-ей группы, обе гипотезы пока что считаются статистически незначимыми, так как $p\text{-value}$ в обоих случаях превысило α , а в случае для 1-ой группы изображений корреляция из положительной стала отрицательной.

В ходе расчета фактической мощности получилось следующее: для первой группы изображений мощности из пилотного и основного экспериментов являются близкими значениями (97,20% и 90,87% соответственно), для второй группы различны (70,00% и 99,00%), для третьей группы различны (99,00% и 71,51%) и для четвертой группы значения близки (70,00% и 71,51%).

Необходимо продолжить сбор данных, а также в случае дополнительного эксперимента учитывать, насколько знакомы респонденты с LUT еще до прохождения опроса.

Литература

- [1] Andriani S., Zobot A., Calvagno G., Vandenberg J.D. 3D-LUT Optimization for High Dynamic Range and Wide Color Gamut Color Processing // *Electronic Imaging*. 2021. Vol. 33. art00002. P. 221-1-221-7. DOI: 10.2352/ISSN.2470-1173.2021.16.COLOR-221.
- [2] Vandenberg J.D., Andriani S. A Review of 3D-LUT Performance in 10-Bit and 12-Bit HDR BT.2100 PQ // *SMPTE Motion Imaging Journal*. 2020. Vol. 129. Iss. 2. P. 59-70. DOI: 10.5594/JMI.2020.2965022.
- [3] Monga V., Bala R. Algorithms for color Look-Up-Table (LUT) design via joint optimization of node location and output values // *Proc. IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*. 2010. P. 998–1001.
- [4] Kang H.R. *Color technology for electronic imaging devices*. Washington: SPIE Optical Engineering Press, 1997. P. 55–63.
- [5] “What Is ICTCP?”. URL: <https://www.dolby.com/us/en/technologies/dolby-vision/ICTcp-white-paper.pdf> (дата обращения: 05.02.2024).

Reducing Visual Artifacts When Using 3D-LUT with Usage of High Dynamic Range Technology

M. A. Pauk, A. V. Mejenin

ITMO University, Russia

Abstract. In the field of processing visual material, there is a problem regarding color conversion tables (hereinafter referred to as LUT — Look Up Table) — the occurrence of visual artifacts when they are used. This article is devoted to the study of methods that would allow the use of 3D-LUT for HDR (High Dynamic Range) images with minimal visual artifacts. LUTs were created in 3D LUT Creator software, and then the color values within each were changed using a program written based on an existing algorithm [1]. The study tested to what extent the use of LUTs of different sizes (specifically, sizes 8, 16 and 25 along each axis of the RGB color space) on an image affects its perception by the viewer (respondent) and the possible manifestation of visual artifacts. The test group contained 45 people. Respondents were asked to select from four groups of images one image that, in their opinion, best coped with the task (darkening or lightening the image, since they most often manifest LUT vulnerabilities), and also evaluate each image in the group separately. In each group, the hypothesis about the influence of LUT size on choice was tested — respondents will most often choose LUTs of size 25x25x25 (hereinafter 25), since the higher the size of the LUT, the less often visual artifacts appear. The main target indicator was the choice between three images; for each group it was calculated separately and presented in the form of a dichotomous scale, where 0 — a LUT of size 25 was not selected and 1 — a LUT of size 25 was selected. The result of the study was confirmation of the hypothesis in all groups of images (considered statistically significant).

Keywords: color correction, LUT, image processing

References

- [1] Andriani, S., Zobot, A., Calvagno, G., Vandenberg, J.D. (2021). 3D-LUT Optimization for High Dynamic Range and Wide Color Gamut Color Processing. *Electronic Imaging*. Vol. 33. art00002. 221-1-221-7. DOI: 10.2352/ISSN.2470-1173.2021.16.COLOR-221.
- [2] Vandenberg, J.D., Andriani, S. (2020). A Review of 3D-LUT Performance in 10-Bit and 12-Bit HDR BT.2100 PQ. *SMPTE Motion Imaging Journal*. Vol. 129, Iss. 2. 59-70. DOI: 10.5594/JMI.2020.2965022.
- [3] Monga, V., Bala, R. (2010). Algorithms for color Look-Up-Table (LUT) design via joint optimization of node location and output values. *Proc. IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*. 998 – 1001.
- [4] Kang, H.R. (1997). Color technology for electronic imaging devices. Washington. SPIE Optical Engineering Press. 55 – 63.
- [5] What Is ICTCP? Available at: <https://www.dolby.com/us/en/technologies/dolby-vision/ICtCp-white-paper.pdf> (access date: 5/2/2024).