

В. А. КОЛБАСИН, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПИ»;
Е. А. ЖЕЛУДКОВА, магистрант НТУ «ХПИ»

МЕТОД ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ОПЕРАТОРА ТОНАЛЬНОЙ КОМПРЕССИИ

У статті запропоновано чисельний критерій оцінки якості роботи операторів тональної компресії. Розглянуто головні фактори, які впливають на сприйняття перетвореного зображення глядачем. Виконано порівняння візуальних оцінок якості перетворення зображень найбільш поширеними операторами тональної компресії з оцінками, що були отримані за запропонованим критерієм.

В статье предложен численный критерий оценки качества работы операторов тональной компрессии. Рассмотрены основные факторы, влияющие на восприятие преобразованного изображения зрителем. Выполнено сравнение визуальных оценок качества преобразования изображений наиболее распространенными операторами тональной компрессии с оценками, полученными при помощи предложенного критерия.

The numerical criterion for the quality of tone mapping operator was proposed. The main factors which affected on human perception of converted image were considered. For most common tone mapping operators visual and numerical estimates, which are calculated using proposed method, were compared.

Введение. В последнее десятилетие в компьютерной графике и цифровой обработке изображений все большее внимание уделяется работе с растровыми изображениями с расширенным динамическим диапазоном (High Dynamic Range Imaging, HDR). Такие изображения хранят информацию об интенсивностях цветовых компонент пикселя в виде чисел с фиксированной точкой большой разрядности или в виде чисел с плавающей точкой и позволяют передавать по каждому цветовому каналу намного больше 256 градаций интенсивности, обеспечиваемых стандартной моделью RGB. За счет этого становится возможным более точно передавать перепады яркостей реальных сцен и обеспечивать пропорциональность данных изображения физическим величинам освещенности, что в перспективе может позволить отделить исходные данные изображения от его представления, пригодного для отображения на конкретном устройстве вывода.

Однако, динамический диапазон большинства устройств вывода существенно меньше как динамического диапазона устройств ввода (фотоаппаратов, сканеров и т.д.), так и человеческого глаза. Поэтому для отображения HDR изображения на неспециализированном устройстве вывода необходимо его преобразовать к более узкому, малому динамическому диапазону (Low Dynamic Range, LDR) устройства вывода. Такое преобразование называется тональной компрессией (tone mapping).

Из-за большой разницы динамических диапазонов простое линейное преобразование значений интенсивностей пикселей может привести к потере деталей изображения, поэтому операторы тональной компрессии являются

нелинейными и могут быть локальными, т.е. учитывать освещенность в окрестности преобразуемого пикселя. Такое преобразование, по сути, является модификацией исходного изображения и может исказить восприятие преобразованного изображения зрителем.

Выделению критериев, по которым можно оценить результат выполнения тональной компрессии, и сравнительному анализу методов тональной компрессии посвящены работы [1, 2]. Однако методов автоматической оценки качества тональной компрессии в данных работах не предлагается. Таким образом, целью данной работы является создание метода для численной оценки качества тональной компрессии, пригодного для частично или полностью автоматизированного выбора метода тональной компрессии для конкретного изображения.

Качество работы оператора тональной компрессии. Преобразование HDR изображения к более узкому динамическому диапазону не может быть выполнено без потерь, однако в идеальном случае эффект от визуального восприятия получившегося LDR изображения должен быть таким же, как и от восприятия исходной сцены. Из выделенных в [1] критериев, на наш взгляд, наиболее сильно на восприятие преобразованного изображения влияют следующие два:

- сохранение соотношения яркостей разных частей изображения;
- сохранение деталей изображения.

Первый критерий определяет, насколько в результате применения тональной компрессии сохраняется характер соотношения яркостей различных частей (сегментов) изображения. Чем больше он сохраняется, тем лучше воспринимается изображение. Для иллюстрации этого, рассмотрим изображение зимнего пейзажа: в нем после выполнения тональной компрессии небо должно остаться светлее снега, а снег должен остаться светлее деревьев. Естественно, что отношения абсолютных значений яркостей соответствующих участков в HDR и LDR изображениях не будут совпадать, но характер отношения должен оставаться неизменным.

Второй критерий определяет, насколько визуально различимыми остаются детали изображения после применения тональной компрессии. Чем больше деталей, видимых на исходной сцене, остается различимыми после тональной компрессии и чем меньше появляется новых деталей, неразличимых на исходной сцене, тем лучше. Например, для того же зимнего пейзажа на результирующем изображении должны быть видны границы облаков, детали леса и рельеф снега, если они были различимы на исходном HDR изображении.

Для численной оценки степени выполнения описанных выше критериев HDR и LDR изображения необходимо разбить на сегменты, отвечающие участкам различной освещенности. Однако, учитывая сложность решения такой задачи и априорную неопределенность количества сегментов изображения, в данной работе было принято решение использовать заранее

задаваемое разбиение изображения на части, так как это делается в системах экспонетрического замера фотоаппаратов. За основу была взята самая простая зонная система замера, предполагающая разбиение кадра на 6 частей по длинной и на 4 части – по короткой стороне

Исходя из принятой схемы разбиения изображения сформулируем численные оценки выполнения выбранных критериев.

Обозначим $Sh_{i,j}$ и $Sl_{i,j}$ средние яркости сегментов i, j HDR и LDR изображений соответственно. Нормированные средние яркости $\tilde{Sh}_{i,j}$ и $\tilde{Sl}_{i,j}$ будут вычисляться по формуле:

$$\tilde{Sh}_{i,j} = \frac{Sh_{i,j} - \min Sh_{i,j}}{\max Sh_{i,j} - \min Sh_{i,j}}, \quad \tilde{Sl}_{i,j} = \frac{Sl_{i,j} - \min Sl_{i,j}}{\max Sl_{i,j} - \min Sl_{i,j}} \quad (1)$$

Оценку изменения относительной яркости участков изображения после выполнения тональной компрессии запишем в виде:

$$L = \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^4 (\tilde{Sh}_{i,j} - \tilde{Sl}_{i,j})^2 \quad (2)$$

Для линейного отображения HDR изображения в LDR значение (2) будет равно 0, с ростом нелинейности преобразования оно будет увеличиваться.

Различимость деталей на изображении во многом определяется величиной перепада яркости по контурам объектов на изображении. Чтобы оценить выраженность контуров и убрать области равномерной яркости, применим к изображению фильтр Собеля [3]. Полученное в результате его применения изображение обозначим E .

Контур является визуально различимым, если перепад яркостей на нем больше некоторого порогового значения. Однако нахождение порогового значения представляет определенную проблему для HDR изображения, так как такое изображение невозможно адекватно отобразить, а только лишь по его цифровому представлению сложно определить, какие детали увидел бы зритель, наблюдай он исходную сцену.

Исходя из того, что для LDR изображений значение порогового уровня различимости Tl составляет около 10 единиц освещенности по 256 уровневой шкале, можно предположить, что для HDR изображения, аналогичное соотношение будет действовать внутри участка одной освещенности. Иными словами, предлагается для HDR изображений использовать в качестве порогового уровня различимости контуров $1/12$ от средней яркости изображения на данном участке, но не менее, чем некоторый

порог T , определяемый экспериментально для каждой камеры и способа создания HDR изображения:

$$Th_{i,j} = \begin{cases} Sh_{i,j}/12 & Sh_{i,j}/12 > T \\ T & Sh_{i,j}/12 \leq T \end{cases} \quad (3)$$

Тогда для количественной оценки наличия визуально различных контуров будем использовать отношение количества точек в сегменте изображения E , значение которых больше соответствующего порога, к общему количеству точек в данном сегменте:

$$Ch_{i,j} = \frac{CntH_{i,j}}{w \cdot h}, \quad Cl_{i,j} = \frac{CntL_{i,j}}{w \cdot h}, \quad (4)$$

где w, h - длина и высота сегмента изображения;

$CntL_{i,j}, CntH_{i,j}$ - количество точек изображения E , значение которых больше порогового значения для HDR и LDR изображений, соответственно.

Величина изменения визуально различимой контрастности изображения определяется из нормированных по изображению оценок (4) $\tilde{Ch}_{i,j}, \tilde{Cl}_{i,j}$ как:

$$D = \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^4 (\tilde{Ch}_{i,j} - \tilde{Cl}_{i,j})^2 \quad (5)$$

Поскольку разные зрители могут акцентировать внимание на разных критериях качества тональной компрессии, итоговый критерий качества будет представлять собой взвешенную сумму:

$$K = a \cdot L + b \cdot D, \quad (6)$$

где a, b - коэффициенты учета каждого критерия.

Результаты. Данный критерий качества был применен для оценки качества тональной компрессии HDR-изображений, полученных из 12-битных данных с матрицы цифрового фотоаппарата (RAW-файлов). Для выполнения тональной компрессии были использованы методы, предложенные в работах [4,5,6]. Результаты сравнения и тестовые изображения представлены в таблице и на рисунке ниже.

Результаты сравнения методов тональной компрессии

	Пейзаж		Арка		Аудитория		Улица		Закат	
	L	D	L	D	L	D	L	D	L	D
Drago, [4]	2,06	5,33	0,19	8,07	0,9	7,47	0,64	0,82	4	4,67
Pattanik, [5]	0,96	3,96	0,20	12,35	0,57	9,91	0,36	2,11	3,03	2,27
Renhard, [6]	2,33	5,96	0,16	7,99	0,81	7,5	0,7	1	4,31	5,48



Тестовые изображения

При визуальном анализе изображений, полученных в результате тональной компрессии, было обнаружено, что оператор [5] чрезмерно увеличивает локальный контраст однородных темных участков изображения (парты в изображении «аудитория» и стены в изображении «арка»), что отражается в увеличении значения компоненты D критерия. С другой стороны, он обеспечивает сохранение общей схемы освещения изображения и детализации при отсутствии однородных областей на изображении (см. изображения «закат» и «пейзаж»), что также отражается в значениях предложенного критерия. Наиболее сложным для анализа стало изображение «улица», поскольку визуально приемлемым были как результат работы метода [5] с избыточным контрастом, так и результат работы метода [4].

Таким образом, оценки качества работы метода тональной компрессии, вычисленные с использованием предложенного метода, в целом совпадают с визуальными оценками, и предложенный критерий может найти применение при автоматической оценке качества работы методов тональной компрессии.

Список литературы: 1. *Yoshida A.* Testing tone mapping operators with human-perceived reality / *A. Yoshida, V. Blanz, K. Myszkowski, H-P. Seidel* // *Journal of Electronic Imaging*. – 2007. – Vol. 16, № 1. – P. 013004 1–14. 2. *Čadik M.* Evaluation of HDR Tone Mapping Methods Using Essential Perceptual Attributes / *M. Čadik, M. Wimmer, L. Neumann [at al.]* // Elsevier. *Computers & Graphics*. – 2008. – Vol. 32, I. 3. – P. 330–349. 3. *Яне Б.* Цифровая обработка изображений / *Б. Яне* – М.: Техносфера, 2007. – 584 с. 4. *Drago F.* Adaptive Logarithmic Mapping For Displaying High Contrast Scenes / *F. Drago, K. Myszkowski, T. Annen [at al.]* // *Proc. of Eurographics*, 2003. – Vol. 22. – P. 419–426. 5. *Biswas K.K.* A simple spatial tone mapping operator for high dynamic range images / *K.K. Biswas, S. Pattanaik* // *Proc. of 13th Color Imaging Conference*, 2005. – P. 291–296. 6. *Reinhard E.* Dynamic Range Reduction Inspired by Photoreceptor Physiology / *E. Reinhard, K. Devlin* // *IEEE Trans. on Visualization and Computer Graphics*. – 2005. – Vol. 11. – P. 1077–1089.

Надійшла до редколегії 16.06.2010