

УДК 004.92: 621.7

Т.А. Колесникова, И.Г. Головки

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

## ПРОЦЕДУРА СЖАТИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ШИРОКИМ ДИНАМИЧЕСКИМ ДИАПАЗОНОМ

*Рассмотрено процесс сжатия высококонтрастных изображений для воспроизведения на устройствах с ограниченным динамическим диапазоном. На основании анализа существующих методов сжатия, предложен алгоритм сжатия изображений с широким динамическим диапазоном, учитывающий визуальную адаптацию человека. В качестве практической реализации рассматриваемого метода, создано приложение - дроплет, который наглядно показывает работу алгоритма. Его можно использовать любыми программами, работающими с растровой графикой.*

**Ключевые слова:** визуальная адаптация человека, высококонтрастное изображение, динамический диапазон, сжатие.

### Введение

**Постановка проблемы.** Изображения с большим динамическим диапазоном яркостей (High Dynamic Image – HDR-изображения) становятся все более популярными в современной компьютерной графике. Это объясняется тем, что они содержат большой уровень деталей, их динамический диапазон яркостей приближен к диапазону человеческого зрения. Однако использование HDR-изображений вызывает большие проблемы при отображении их на стандартных устройствах (мониторы, принтеры и т.д.), динамический диапазон которых существенно меньше. Поэтому необходимо производить операцию согласования динамических диапазонов, а именно процедуру сжатия или тонового отображения (tone mapping) [1]. Качество работы таких операторов оценивается главным образом по уровню сохранения деталей изображения, локального контраста и отсутствию артефактов. Существенным фактором также является скорость работы алгоритма и объем требуемой памяти.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Анализ существующих алгоритмов сжатия, показал, что каждый из них имеет как достоинства, так и недостатки. Зачастую алгоритмы дающие хороший результат без существенных потерь качества имеют довольно громоздкие вычисления, а более простые операторы не дают нужного результата и на выходе мы получаем изображение с ненужными артефактами и/или потерей деталей в светах или тенях.

Было выявлено, что наиболее оптимальными алгоритмами сжатия для HDR-изображений являются локальные операторы, поскольку они основаны на модели визуального восприятия человека и не требуют сложных математических вычислений, при этом сохраняя требуемое качество изображения. Поэтому именно на основе локальных операторов был предложен алгоритм компрессии.

**Цель статьи.** Предложить простой алгоритм тональной компрессии изображений с широким динамическим диапазоном, который учитывает визуальную адаптацию человека.

### Изложение основного материала

**Визуальная система адаптации человека в компьютерной графике.** Чтобы построить хороший оператор отображения тона, необходимо понять, как люди видят мир вокруг них.

Визуальная адаптация зрительной системы человека – форма сенсорной адаптации, выражающаяся в приспособлении чувствительности зрительной системы к изменениям условий освещения внешней среды за счет изменения абсолютной световой чувствительности зрительного анализатора [2].

В целом процесс визуальной адаптации, возникающий в условиях временного изменения яркости или цветности поля зрения, характеризуется зависимостью светлоты или ощущения цветности от времени адаптации.

Принимая во внимание зрительные особенности человека, модель визуальной адаптации оказалась полезной в компьютерной графике, включая создание хороших операторов тональной компрессии. К сожалению, такие операторы обычно комплексные и требуют сложных математических вычислений. Выходом из положения является использование цветового пространства XYZ, которое основано на модели человеческого зрительного восприятия.

**Преобразование цветового пространства.** Известно, что цветовой диапазон таких устройств, как монитор и сканер, описывает цветовая модель RGB. Если изобразить отношения цветовых координатных систем, то цветовой охват монитора будет представлять собой лишь некоторую часть области внутри цветового охвата человеческого зрения (рис. 1).

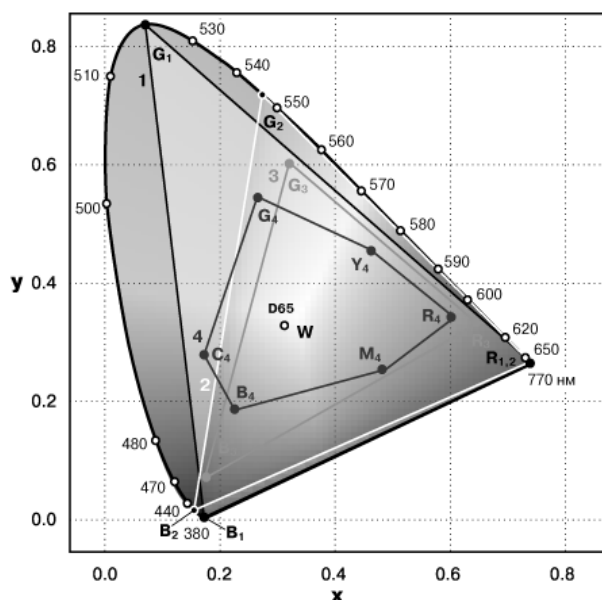


Рис. 1. Соотношение цветового охвата зрения человека и технических устройств

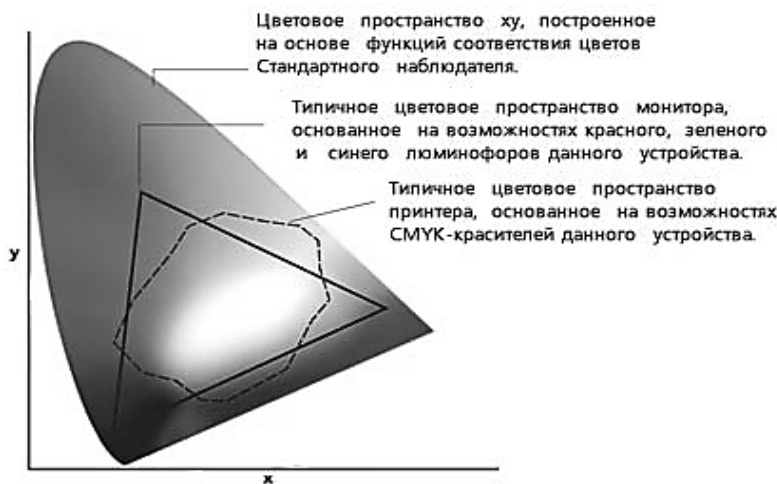


Рис. 2. Соотношение цветового охвата CIE XYZ, RGB и CMYK

Для начала нужно определить, каким образом яркость изображения будет подвергнута сжатию.

Любой метод измерения контраста модифицирует яркость пикселей. При этом есть несколько вариантов:

- максимальная яркость инварианта;
- средняя яркость инварианта;
- минимальная яркость;
- низкий уровень яркости остается неизменным.

Наиболее эффективным является второй вариант, поскольку именно средняя яркость отвечает за общее впечатление о яркости всего изображения. Поэтому предлагаемый алгоритм основывается на сжатии именно средней яркости пикселей.

Яркость изображения мы можем получить при переводе цвета пикселя из модели RGB в модель XYZ, поскольку в модели XYZ компонента Y является яркостью.

Для того, чтобы разработать хороший оператор компрессии HDR-изображения необходимо учитывать особенности визуального восприятия человека, его зрительной адаптации к яркости. Модель RGB никоим образом это не учитывает, поэтому в разрабатываемом алгоритме будем использовать аппаратно-независимую модель представления цвета CIE XYZ, которая основана на изучении человеческого глаза (рис. 2).

Грубо говоря, CIE XYZ это то, как видит трехкомпонентное изображение человек [3].

Поэтому первым этапом алгоритма создания HDR-изображений является перевод цвета пикселя из модели RGB в модель XYZ.

Основная цель тонального отображения – воспроизвести изображение, которое имеет больший динамический диапазон, чем устройства отображения. Первоначально нужно определить, каким образом яркость изображения будет подвергнута сжатию.

Яркость изображения будет рассчитываться следующим образом:

$$L_w = Y = 0,27 \cdot R + 0,67 \cdot G + 0,06 \cdot B. \quad (1)$$

Для расчета средней яркости следовало бы воспользоваться логарифмической функцией, потому что именно логарифм описывает модель визуальной адаптации человека. Но поскольку, визуальную адаптацию человека мы учитываем, используя цветное пространство XYZ, такой необходимости нет.

Поэтому для вычисления усредненной яркости можно взять более простую формулу:

$$L_{cp} = \sum_1^N \frac{L_w(x, y)}{N}, \quad (2)$$

где  $L_w(x, y)$  – значение локальной яркости HDR-изображения;  $N$  – количество пикселей.

Имея значения усредненной яркости пикселя и яркость HDR-изображения, мы можем вычислить значение яркости отдельного пикселя.

$$L(x, y) = \left( \frac{a \cdot L_w(x, y)}{L_{cp}} \right) \quad (3)$$

где  $a$  – коэффициент, позволяющий управлять характером сжатия HDR диапазона, обычно – 0,18.

При этом значение координат RGB пикселя будет равно

$$RGB(x, y) = nRGB(x, y) * L_w(x, y), \quad (4)$$

где  $nRGB(x, y)$  – нормализованное значение RGB.

Далее необходимо выполнить пересчет яркости пикселя в диапазон монитора (0..1).

Единичная функция, позволяющая пересчитать яркость пикселя исходного HDR-изображения, имеет вид

$$L_d(x, y) = \frac{L(x, y)}{(1 + L(x, y))}. \quad (5)$$

Основываясь на формуле (4), теперь можно выполнить пересчет цвета пикселя исходного HDR-изображения

$$\begin{aligned} dRGB(x, y) &= \\ &= nRGB(x, y) * L_d(x, y) = \\ &= \frac{nRGB(x, y) \cdot L_w(x, y) \cdot a}{L_{cp}(1 + L(x, y))} = \frac{RGB(x, y) \cdot a}{L_{cp}(1 + L(x, y))}. \end{aligned}$$

Чтобы ограничить диапазон яркости необходимо знать предел значений яркости. Для мониторов максимальным значением яркости является точка белого.

Ограничение диапазона яркости  $L_d(x, y)$  рассчитывается следующим образом

$$L_d(x, y) = L(x, y) \cdot \frac{1 + L(x, y)/L_{max}}{1 + L(x, y)}, \quad (6)$$

где  $L_{max}$  – максимальное значение яркости, которое отобразится в белый цвет, верхнюю границу динамического диапазона монитора (точка белого).

Тогда расчет цвета пикселя, приведенного к динамическому диапазону, будет иметь вид

$$\begin{aligned} dRGB(x, y) &= (nRGB(x, y) \cdot L_w(x, y)) \cdot (a / L_{cp}) \times \\ &\times ((1 + L(x, y) / L_{max}^2) / (1 + L(x, y))) = RGB(x, y) \times \\ &\times (a / L_{cp}) \cdot ((1 + L(x, y) / L_{max}^2) / (1 + L(x, y))). \end{aligned}$$

Разработанный алгоритм тональной компрессии реализовывается в виде дроплета. Сначала было записано действие (action) в графическом редакторе Adobe Photoshop. Затем записанное действие было преобразовано в дроплет. Дроплет – это небольшое

по размеру, но мощное приложение, сохраняющее настройки оптимизации, которые действовали в момент его создания, и применяющее их к изображению по указанию пользователя. Дроплет может находиться на рабочем столе или в папке в ожидании «действия». Если перетащить файл или папку с файлами на пиктограмму дроплета, то они будут автоматически обработаны определенным образом.

Эксперимент проводился на 110 HDR-изображениях с разными сценами. Это 32-битные изображения, имеющие широкий тональный диапазон. На мониторе они отображаются не корректно, с большой потерей яркости, цветности и деталей, особенно в тенях и средних тонах (рис. 3).

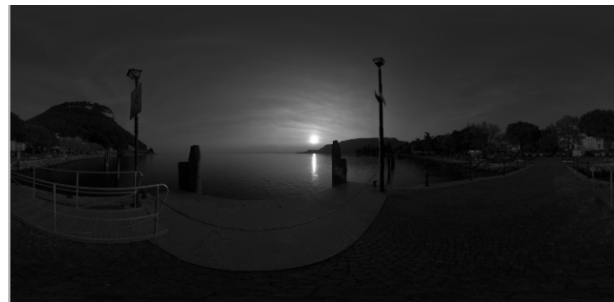


Рис. 3. Воспроизведение HDR-изображения монитором

Чтобы оценить алгоритм, мы сравнили его результат с результатами стандартных плагинов программы Adobe Photoshop. По умолчанию их существует четыре:

а) экспозиция и гамма (exposure and gamma). Ручная настройка яркости (светлоты) и контрастности HDR-изображения. Изменяет яркость всех пикселей на одну и ту же величину, вследствие чего, изображение получается либо слишком переэкспонированным, либо недоэкспонированным, из-за чего большинство деталей и цветов теряется в обоих случаях (рис. 4, а);

б) яркостная компрессия (Highlight compression). Сжимает значения освещенности в HDR-изображении так, чтобы они попадали в диапазон ярких тонов значений в 16-битных файлах. Не позволяет регулировать характер сжатия значений яркости. Не дает эффективного результата, изображение получается слишком темным и теряет большую часть деталей (рис. 4, б);

в) выравнивание гистограмм (equalization histogram). Сжимает динамический диапазон HDR-изображения, пытаясь сохранить некоторый контраст. Как и предыдущий метод не позволяет регулировать характер сжатия. Результат получается сравнительно неплохим, однако в слишком темных и светлых участках теряются детали (рис.4, в);

Изображение, полученное при помощи предлагаемого дроплета представлено на рис.4, г.



Рис. 4. Результаты обработки HDR-изображений различными методами

Тестирование дроплета проводилось еще на 110 изображениях. Во время экспериментов было выявлено, что данный алгоритм работает с изображениями в среднем ключе. Обработка изображений с преобладанием светов или теней не всегда выполняется корректно. В дальнейшем планируется уточнения и исправления данного недостатка.

### Выводы

Был рассмотрен процесс сжатия высококонтрастных изображений для воспроизведения на устройствах с ограниченным динамическим диапазоном. На основании анализа существующих методов сжатия высококонтрастных изображений, в частности локальных операторов, был разработан алгоритм, учитывающий визуальную адаптацию человека. Предлагаемый алгоритм не требует сложных математических вычислений и при этом сохраняет высокое качество изображения. В качестве практи-

ческой реализации создано приложение - дроплет. Его можно использовать любыми программами, работающими с растровой графикой.

### Список литературы

1. *Tone Mapping (тональное отображение, тональная компрессия)* [Электронный ресурс] / HDR-мания. – Режим доступа: <http://hdr-mania.ru/tone-mapping>.
2. В. Карп Зеркало сцены [Электронный ресурс] : Статья / Энциклопедия театра. Адаптация визуальная 2014. – Режим доступа: [http://enc.vkarp.com/адаптация\\_визуальная](http://enc.vkarp.com/адаптация_визуальная). – Название с экрана
3. RGB, CMYK, XYZ и другие цветовые схемы изображений [Электронный ресурс] / IPIC-блог хостинга изображений. – Режим доступа: <http://ipic.su/blogrgb-stuk-xyz>. – Название с экрана

Поступила в редколлегию 11.12.2014

**Рецензент:** канд. техн. наук И.М. Егорова, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

### ПРОЦЕДУРА СТИСНЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ З ШИРОКИМ ДИНАМІЧНИМ ДІАПАЗОНОМ

Т.А. Колесникова, І.Г. Головка

*Розглянуто процес стиснення висококонтрастних зображень для відтворення на пристроях з обмеженим динамічним діапазоном. На підставі аналізу існуючих методів стиску, запропонований алгоритм стиснення зображень з широким динамічним діапазоном, що враховує візуальну адаптацію людини. В якості практичної реалізації розглянутого методу, створено програму – дроплет, який наочно показує роботу алгоритму. Його можна використовувати будь-якими програмами, що працюють з растровою графікою.*

**Ключові слова:** візуальна адаптація людини, висококонтрастне зображення, динамічний діапазон.

### PROCEDURE OF COMPRESSING IMAGES WITH A WIDE DYNAMIC RANGE

T.A. Kolesnikova, I.H. Holovko

*Consider the process of compression for high contrast images for playback on devices with limited dynamic range. Based on the analysis of existing methods of compression, image compression algorithm is proposed with a wide dynamic range, taking into account the visual adaptation rights. As a practical implementation of the method, created by the application - the droplet, which demonstrates the algorithm.*

**Keywords:** dynamic range compression, visual adaptation of man, high-contrast image.