

УДК 621.397+004.896

А. О. Боровкова, А. М. Чмутин

УПРАВЛЕНИЕ ЯРКОСТЬЮ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ФОТОГРАФИИ, ТЕЛЕВИДЕНИИ И КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКЕ. ЧАСТЬ 2

Структурированы способы управления яркостью изображения. Проанализирован классический алгоритм яркостного сдвига. Изложены критические замечания к нему. Предложен новый алгоритм, свободный от выявленных недостатков. Описаны и оценены погрешности существующих программ. Очерчена область применения оригинального программного продукта.

Ключевые слова: изображение, яркость, яркостный контраст, механизм контрастирования, алгоритм сохранения цветности, экспертные приложения.

The ways to control the brightness of image are structured. The classical algorithm of brightness-shift transform is analyzed. Critical remarks to this algorithm are stated. New algorithm, free from the revealed mistakes, is offered. The errors of existing software are described and estimated. The sphere for original program application is outlined.

Key words: image, brightness, brightness contrast, contrast transform mechanism, chromaticity preservation algorithm, expert application.

Воспользовавшись определением яркостного сдвига [1], обратимся к его реализации в приемной телевизионной аппаратуре. Оттолкнемся от [2]. Принцип управления яркостью в телевизоре отображен на рис. 1, где показаны графики ТВ-сигнала (развертки одной и той же строки кадра в стандарте 625×25 с изображением испытательной таблицы) при фиксированном контрасте для двух положений регулировки «Яркость». Примерно на полувывоте шкалы оси ординат расположена зона наилучшего восприятия контраста человеческим глазом. Она соответствует линейному участку кривой чувствительности, который наклонен к оси абсцисс под наибольшим из всех возможных углом [1, рис. 1], собственно и определяющим видимый контраст. Поэтому при любом (сверху или снизу) сдвиге яркости всех точек изображения в сторону этой зоны контраст лишь увеличивается. Подчеркнем особо, увеличивается контраст видимый: оптический контраст к восприятию никакого отношения не имеет, как бы ни был он определен — по Веберу или по Майкельсону [3].

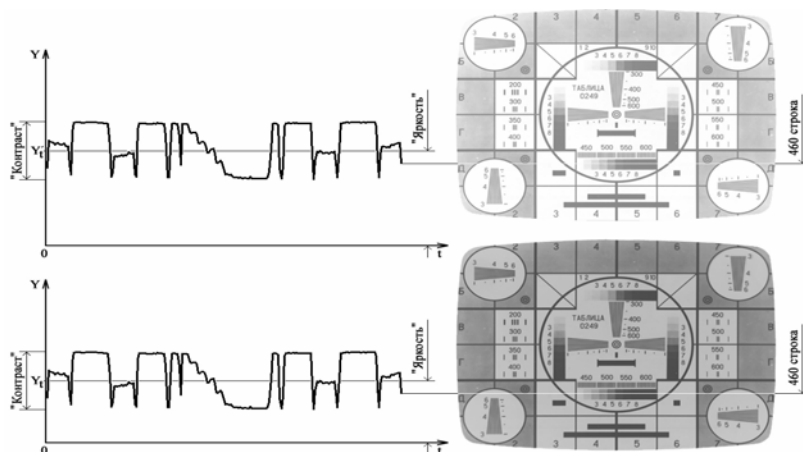


Рис. 1. Телевизионный сигнал и настройка параметров изображения

Таким образом, при яркостном сдвиге контраст меняется перцепционно, а именно за счет вариации удаления яркости от зоны, подчиненной закону Вебера — Фехнера. Этот способ слабый: естественный предел такому контрастированию ставит фиксированный максимум наклона кривой чувствительности глаза [1, рис. 1]. Управление яркостным сдвигом черно-белого телевизионного изображения описывается выражением, аналогичным (4) [1], но индекс t отнесен к временной координате развертки:

$$Y_t' = A + Y_t. \quad (1)$$

Переход к цветному телевизионному изображению лишь неявно добавил в (1) яркостное уравнение $Y = (KR + 3G + CB)$:

$$(KR_t' + 3G_t' + CB_t') = (KA + 3A + CA) \pm (KR_t + 3G_t + CB_t), \quad (2)$$

где K , 3 и C — весовые коэффициенты, всецело определявшиеся выбором стандарта цветного телевизионного вещания; R_t , G_t , B_t и R_t' , G_t' , B_t' — исходные и результирующие цветовые сигналы; A — декомпозиция по RGB-каналам, которая привела, соответственно, к следующему:

$$\begin{aligned} R_t' &= A \pm R_t, \\ G_t' &= A \pm G_t, \\ B_t' &= A \pm B_t. \end{aligned} \quad (3)$$

Структурно выражения (3) описывают такой же, как в черно-белом телевидении, яркостный сдвиг, приводящий к физиологическому (слабому) механизму контрастирования изображения. Но преобразованию (3), в отличие от (1), сопутствует сдвиг цветовой, возникающий при иллюстрируемой рис. 1 регулировке яркости из-за непропорционального изменения цветовых сигналов. Аналитически неизбежность цветовой сдвига была установлена еще в [4]. Это явление можно наблюдать на любом бытовом цветном приемнике с электронно-лучевой трубкой. Правда, в телевизоре с ним удавалось более или менее успешно бороться аналоговой коррекцией сигнала в каждом из RGB-каналов, чего не скажешь о компьютерной обработке изображений.

Наконец, остановимся на реализации одинакового изменения яркости всех точек изображения в программной графике. В графических пакетах этот инструмент принято именовать <brightness>¹. Его работа иллюстрируется рис. 2. Здесь левое изображение исходное, у среднего яркость повышена до середины шкалы, у правого — до максимума. Их сравнение однозначно говорит в пользу приведенного выше математического аппарата физиологического механизма контрастирования: любое изменение яркости в сторону средних тонов ведет

¹ Исключение составляют, к примеру, Photoshop последних версий и HDR PhotoStudio, где этот инструмент построен уже на нелинейных принципах. Далее мы не будем рассматривать эти пакеты. Отметим только, что в первом случае целесообразность введения нелинейности сомнительна (цветовой сдвиг этим преодолен так и не был), а во втором — степенная функция не панацея, а паллиатив (хоть цветовой сдвиг и был частично подавлен, но лишь в пределах нелинейности первого рода — без точек перегиба, что редуцирует эффективность подобного инструментария).

лишь к повышению контраста. Пока мы намеренно не уточняем, какой именно программный продукт был использован для выполнения яркостного сдвига на рис. 2: подобного изобразительного эффекта можно легко добиться не только в доступных растровых графических пакетах, но даже в телевизоре и фотографическом процессе.

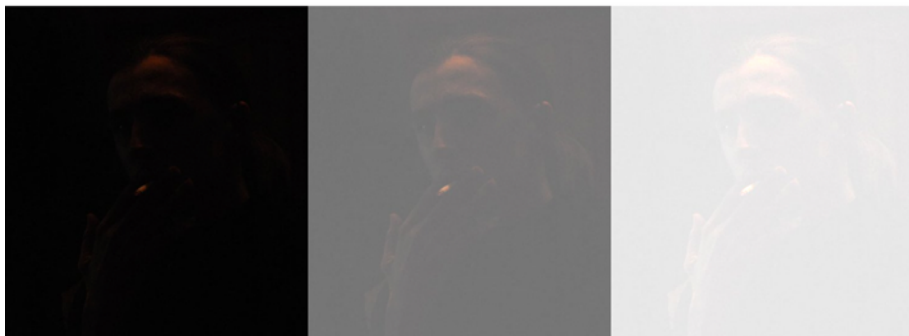


Рис. 2. Пример программной реализации яркостного сдвига

Следует отметить, что в отличие от рис. 1 исходное изображение для рис. 2 специально подбиралось с возможно более узким диапазоном яркостей. Это было сделано для того, чтобы стандартный наблюдатель мог более уверенно судить о контрасте изображений, сопоставляя ограниченное количество деталей, различаемых его глазом на результирующем и исходном изображениях. Ведь в противном случае (т. е. на фоне насыщенного деталями изображения) разница визуально скрадывалась бы. Для этой иллюстрации мы лишь повышали яркость. Нетрудно спрогнозировать, что в силу симметрии преобразования при понижении яркости у правого изображения наиболее информативным опять окажется уровень, соответствующий середине шкалы.

Теперь перейдем от визуальных оценок к численному исследованию. Результаты изучения яркостного сдвига программными средствами показаны на рис. 3. На графике по оси абсцисс отложены цветовые координаты пикселей исходного изображения, по оси ординат — после увеличения его яркости на 50 единиц (это середина шкалы). Характерно, что три линии (R , G и B) совпали. Это значит, что формулы (3) переключались и в компьютерную графику.

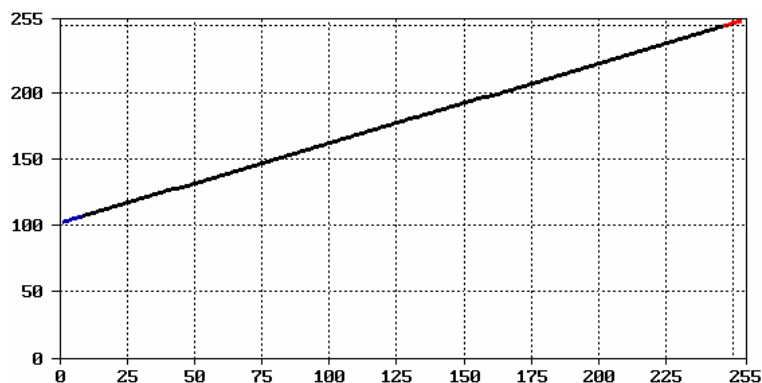


Рис. 3. Типичная зависимость результирующей яркости от исходной

Интуитивно понятно, что ни одному из трех рассмотренных способов вариации яркости, сильному или слабому, не должна сопутствовать вариация цвета изображения, поскольку в целом цвет — атрибут окраски объекта, а яркость — атрибут его освещения; исключения из этого правила специфичны и касаются только цветной засветки [5]. Точнее, здесь надо бы говорить уже не о цвете, а о цветности. Последнюю мы, руководствуясь базовыми энциклопедическими понятиями о соотношении цветовых координат [6], охарактеризовали тремя дробями: R/G , G/B , B/R . Дело в том, что их вычисление с точки зрения программиста более рационально, чем вычисление координат цветности (здесь учтем также, что эта операция применяется к каждому пикселю, при этом неоднократно, а число пикселей с развитием цифровой техники регистрации изображений быстро растет), о необходимости этих вычислений для яркостного сдвига речь пойдет ниже. Отметим, что при таком аналитическом описании цветности ее физическая трактовка становится тривиальной — это соотношение красителей в краске.

Тогда относительная погрешность цветности (или приведенный цветовой сдвиг) для каждого пикселя изображения определится следующей трехчастной системой:

$$\delta(R/G) = (R'/G' - R/G) / (R/G);$$

$$\delta(G/B) = (G'/B' - G/B) / (G/B);$$

$$\delta(B/R) = (B'/R' - B/R) / (B/R).$$

Оценим эту погрешность экспериментально. Зависимость приведенного цветового сдвига от яркостного фактора была нами тщательно просчитана для типового объекта (у левой половины квадратного поля $R=95$, $G=125$, $B=85$; у правой $R=105$, $G=125$, $B=110$) при наименьшем возможном шаге изменения яркости, с тем чтобы минимизировать шум, обусловленный дискретным представлением цветовых координат (рис. 4).

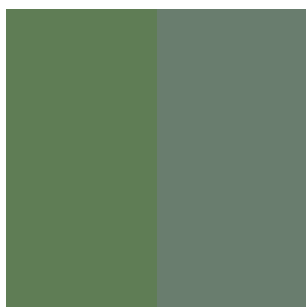


Рис. 4. Исходное изображение

Шкала оси абсцисс этой зависимости на каждом из графиков отвечает градуировке инструмента <brightness> из соответствующего программного пакета. Красной линией обозначена $\delta(R/G)$, зеленой — $\delta(G/B)$, синей — $\delta(B/R)$. На рис. 5 сверху вниз последовательно процитированы несколько пакетов (табл.).

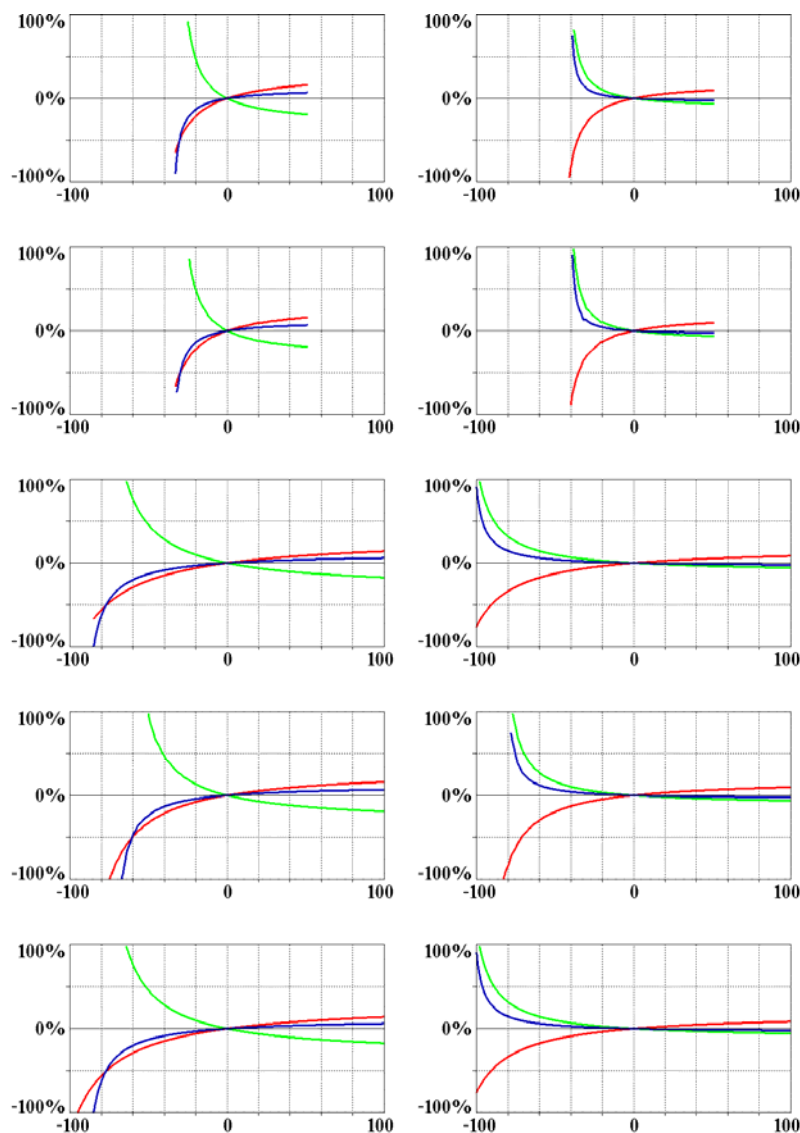


Рис. 5. Погрешность цветности при вариации яркости

Сведения о графических пакетах

Пакет	Версия	Производитель	Год выпуска
CorelDRAW	v. X4	Corel	2008
Office Picture Manager	—	Microsoft	2007
PaintNet	v. 3.5.5	Microsoft	2010
PhotoImpact	v. X3	InterVideo	2007
PhotoShop	v. 5.5	Adobe	1999

Как видим из графиков, весь перечисленный программный продукт преобразует яркость изображения с погрешностью передачи цветности несравнимо большей допускаемой при цифровом представлении цвета погрешности дискретизации. Учтем, что на рис. 5 отображена только погрешность первого

рода, которая имеет место даже тогда, когда ни одна цветовая координата еще не успела войти в насыщение на предельных (при 24-битной цветовой шкале) значениях 0 и 255².

Теперь для подтверждения озвученного выше положения о необходимом сохранении цветности при любых яркостных преобразованиях, предлагается новый алгоритм яркостного сдвига, который включает решение системы (4). Необходимость и достаточность четырех уравнений для отыскания трех неизвестных показана в [2]:

$$\begin{aligned} Y'_i / Y_i &= (KR'_i + 3G'_i + CB'_i) / (KR_i + 3G_i + CB_i); \\ R'_i / R_i &= G'_i / G_i; \\ G'_i / G_i &= B'_i / B_i; \\ B'_i / B_i &= R'_i / R_i, \end{aligned} \quad (4)$$

где R_i , G_i , B_i и R'_i , G'_i , B'_i — исходные и результирующие значения и после яркостного сдвига; K , 3 и C — числовые значения яркостных коэффициентов, выбор которых определяется формой яркостного уравнения (NTSC, EC, Adobe или др.).

И если предложенную новацию можно посчитать не особо актуальной в задачах синтеза изображений (а, в конце концов, все упоминаемое в данной статье программное обеспечение не более, как средства рисования), то в задачах анализа изображений такое решение представляется весьма существенным: например, в криминалистической или судебной экспертизе оно становится и релевантным, и утилитарным. Именно в этой области мы и прогнозируем актуализацию разработанного виртуально-оптического инструментария.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Боровкова А. О., Чмутин А. М. Управление яркостью изображений в фотографии, телевидении и компьютерной графике. Часть 1 [Электронный ресурс] // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2013. № 3(28). URL: [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/BorovkovaChmutin1-2013_3\(28\).pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/BorovkovaChmutin1-2013_3(28).pdf).
2. Боровкова А. О., Рвачева О. В., Чмутин А. М. Управление яркостным контрастом: от телевидения к компьютерной графике [Электронный ресурс] // Журнал радиоэлектроники. 2012. № 2. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/feb12/7/text.pdf> (дата обращения : 18.12.2012).
3. NASA Ames Research Center Color Usage Research Lab. Luminance Contrast [Электронный ресурс]. URL: http://colorusage.arc.nasa.gov/luminance_cont.php (дата обращения : 18.12.2012).
4. Рвачева О. В., Стрюкова А. О., Чмутин А. М. Яркостное преобразование и цветовой сдвиг: проблемы Microsoft, Corel, Adobe, etc. // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2010. № 10. С. 32—38.
5. Иттен И. Искусство цвета. М. : Д. Аронов, 2010. 96 с.
6. Физический энциклопедический словарь / под ред. А. М. Прохорова. М. : Советская энциклопедия, 1984. С. 300.

1. Borovkova A. O., Chmutin A. M. Upravlenie yarkost'yu izobrazheniy v fotografii, televidenii i komp'yuternoy grafike. Chast' 1 [Elektronnyy resurs] // Internet-vestnik VolgGASU. Ser.: Politematicheskaya. 2013. № 3(28). URL: [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/BorovkovaChmutin1-2013_3\(28\).pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/BorovkovaChmutin1-2013_3(28).pdf).

2. Borovkova A. O., Rvacheva O. V., Chmutin A. M. Upravlenie yarkostnym kontrastom: ot televideniya k komp'yuternoy grafike [Elektronnyy resurs] // Zhurnal radioelektroniki. 2012. № 2. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/feb12/7/text.pdf> (data obrashcheniya : 18.12.2012).

² При яркостном сдвиге существует еще и погрешность второго рода, однако этот вопрос требует отдельного рассмотрения.

3. NASA Ames Research Center Color Usage Research Lab. Luminance Contrast [Elektronnyy resurs]. URL: http://colorusage.arc.nasa.gov/luminance_cont.php (data obrashcheniya : 18.12.2012).
4. Rvacheva O. V., Stryukova A. O., Chmutin A. M. Yarkostnoe preobrazovanie i tsvetovoy sdvig: problemy Microsoft, Corel, Adobe, etc. // Aktual'nye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk. 2010. № 10. S. 32—38.
5. Itten I. Iskusstvo tsвета. M. : D. Aronov, 2010. 96 s.
6. Fizicheskiy entsiklopedicheskiy slovar' / pod red. A. M. Prokhorova. M. : Sovetskaya entsiklopediya, 1984. S. 300.

© Боровкова А. О., Чмутин А. М., 2013

*Поступила в редакцию
в феврале 2013 г.*

Ссылка для цитирования:

Боровкова А. О., Чмутин А. М. Управление яркостью изображений в фотографии, телевидении и компьютерной графике. Часть 2 // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2013. Вып. 3(28). URL: [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/BorovkovaChmutin2-2013_3\(28\).pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/BorovkovaChmutin2-2013_3(28).pdf)