

УДК 539.216:546.824-31

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ТОНАЛЬНОЙ КОМПРЕССИИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ДИСПЛЕЕВ

А.В. СЫЧЁВ, А.А. СТЕПАНОВ, А.Г. СМИРНОВ, *К. БЛАНКЕНБАХ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровки, 6, Минск, 220013, Республика Беларусь

*Университет г. Пфорцхайма, Технический факультет
Тифенброннер Штрассе, 65, Пфорцхайм, 75155, Германия

Поступила в редакцию 27 апреля 2015

Приведены результаты сравнительного анализа методов тональной компрессии, используемых при обработке изображений жидкокристаллических дисплеев при воздействии интенсивного внешнего освещения, с целью повышения достоверности считывания информации. Предложены два новых метода тональной компрессии, которые основаны на метрологических стандартах жидкокристаллических дисплеев. Предложенные методы сравниваются с известными методами по тематике «улучшение изображения при воздействии внешнего освещения».

Ключевые слова: жидкокристаллические дисплеи, внешняя засветка, улучшение изображения, тональная компрессия, цветокоррекция.

Введение

Отражение света от поверхности жидкокристаллического дисплея (ЖКД) при его интенсивной внешней засветке значительно ухудшает качество восприятия изображения, что приводит во многих случаях к недостоверности считывания информации. Особенно это существенно при использовании ЖКД, например, в салоне автомобиля или кабине пилота. Данную проблему можно решить применением специальных методов тональной компрессии, которые базируются на разных идеологиях и отличаются друг от друга в зависимости от характера корректируемого изображения [1].

Как правило, различают два типа изображений:

- 1) фотореалистичное изображение, формируемое с помощью технических средств, например, фотографии [2];
- 2) нефотореалистичное изображение – противоположное фотореалистичному изображению – которое относится к области компьютерной графики и получается методами имитации объектов [3].

Процесс получения изображения осуществляется при помощи метода визуализации, цветокоррекции, который возвращает преобразованные координаты цвета к первоначальным, и тональной компрессии (от англ. *tone mapping*), который изменяет яркость изображения по определенной модели.

Разработаны метод тональной компрессии и метод цветокоррекции, которые реализованы в едином алгоритме по преобразованию изображения в условиях интенсивного внешнего освещения. В данной работе приведены результаты преобразования изображений с помощью разработанных методов и проведено сравнение с известными ранее.

Методы тональной компрессии

Отражение любого рода источника света от поверхности ЖКД значительно ухудшает его оптические характеристики.

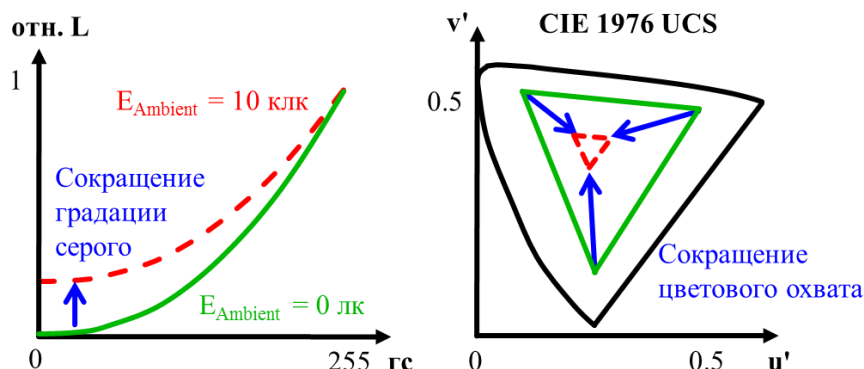


Рис. 1. Изменения ступеней градации серого (слева) и цветового охвата (справа) дисплея при влиянии внешнего освещения с интенсивностью 10^4 лк [1]

Из рис. 1 видно, что влияние внешнего освещения приводит к смещению градации серой шкалы (слева) и уменьшению цветового охвата (справа) дисплея [1, 5]. На рис. 1, а зеленая линия соответствует характеристике дисплея в темной комнате, то есть без внешнего источника освещения. Освещенность в данном случае равна $E_{Ambient} = 0$ лк. Смещение красной линии на этом рисунке относительно зеленой демонстрирует ухудшение характеристик дисплея при наличии отраженного от поверхности дисплея яркого света от внешнего источника, например, с интенсивностью освещенности $E_{Ambient} = 10^4$ лк. На рис. 1 максимальная яркость принята за единицу. Отражение внешнего источника света от поверхности дисплея увеличивает общую яркость изображения, при этом относительная яркость между двумя соседними ступенями градации серого уменьшается. На рис. 1, а это отчетливо видно на низких ступенях градации серого. Так, приблизительно до 50-й ступени градации серой шкалы, кривая проходит почти горизонтально. Целью метода тональной компрессии является увеличение яркости низких ступеней градации серого, так как они подвержены наибольшему смещению. Увеличение яркости нижних ступеней градации ведет к увеличению относительной яркости между ними и способствует улучшению восприятия всего изображения. В идеальном случае, восприятие изображения должно быть таким, каким оно воспринимается в темной комнате.

Так как отраженный свет имеет большую яркость, чем яркость низких ступеней градации серого, это приводит к тому, что общая яркость отраженного света с яркостью каждой из низких соседних ступеней градации серого не намного отличаются от яркости отраженного света, тем самым становясь для человека физически неразличимыми.

Чтобы различить две соседние градации серого, нужна минимальная относительная яркость ΔL – порог различия, который определяется из закона Вебера [6]. Закон Вебера говорит о том, что любой орган чувств при определенной перемене реагирует на изменения (например, глаз реагирует на интенсивность света или яркость). Так, человеческий глаз регистрирует изменение яркости от 1 до 2 %.

Методы тональной компрессии позволяют увеличивать яркость ступеней градации серого, делая низкие тона более различимыми, изменяя низкие ступени градации серого на более высокие. Однако это ведет к сокращению диапазона более высоких ступеней. Известно, что максимальное число ступеней градации серого равно 256-ти (от 0 до 255), что обусловлено 8-ми битной разрядностью шины данных для каждого цвета. Разработанный метод тональной компрессии « ΔE », (нем. Empfindung – ощущение) базируется на следующей зависимости [1]:

$$\Delta E_{uv}^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta u^*)^2 + (\Delta v^*)^2} = \Delta L^* [1]. \quad (1)$$

Выражение (1) определяет разницу яркостей двух соседних ступеней градации серого ΔL^* , а также цветовые координаты Δu^* и Δv^* . В данном методе тональной компрессии изменяется только значения яркости, не изменяя цвета.

Теоретическая яркость ступеней градации серого рассчитывается согласно выражению (2), рассматривая два соотношения яркостей самой ступени градации серого к максимальной яркости:

$$L_n^* = \begin{cases} \left(\frac{29}{3}\right)^3 \frac{L_n}{L_{\text{Max}}}, & \frac{L_n}{L_{\text{Max}}} \leq \left(\frac{6}{29}\right)^3; \\ 116 \left(\frac{L_n}{L_{\text{Max}}}\right)^{\frac{1}{3}} - 16, & \frac{L_n}{L_{\text{Max}}} > \left(\frac{6}{29}\right)^3. \end{cases} \quad (2)$$

Разработанный второй метод тональной компрессии « $\Delta L/L$ » основан на зависимости (3), а значение яркости рассчитывается по формуле (2).

$$\frac{\Delta L}{L}(GL_n) = \frac{L_{n+1}^* - L_n^*}{\left(\frac{L_{n+1}^* + L_n^*}{2}\right)}. \quad (3)$$

Теоретически « $\Delta L/L$ » алгоритм при влиянии внешнего освещения может быть описан степенной функцией типа GL^α . Например, при интенсивности внешнего освещения $E_{\text{Ambient}} = 10^4$ лк, параметр α равен 0,45. Степенная функция используется как метод для предотвращения негативного эффекта клиппинга (от англ. clipping), т.е. «обрезания» высоких уровней градации серого. Аналогично, подобная степенная функция может использоваться также и в методе « ΔE » для предотвращения клиппинг-эффекта [7]. Применяя предлагаемые алгоритмы, можно изменять яркость изображения в зависимости от изменения яркости внешнего освещения, учитывая параметры дисплея.

Целесообразно сравнить предлагаемый метод тональной компрессии с тремя известными методами, описанными в литературе. Так, в работе Чена и его коллег [8] описывается метод «глобальной» адаптации яркости, который определяет ее значение на всем изображении («глобально»), а улучшает локальный контраст. Метод «глобальной» адаптации яркости использует передаточную функцию фотокамеры [9] с дополнительным параметром (τ), отвечающим за яркость изображения:

$$D = \frac{\log((I - \tau) + 1)}{\log((I_{\text{Max}} - \tau) + 1)} [9]. \quad (4)$$

При помощи сочетания метода «глобальной» адаптации яркости и метода улучшения локального контраста предотвращается потеря контраста и «вымывание» цвета. Данный метод включает единственный внешний параметр – величину чувствительности яркости глазом человека. Результат преобразования оригинального изображения показан на рисунке рис. 2.

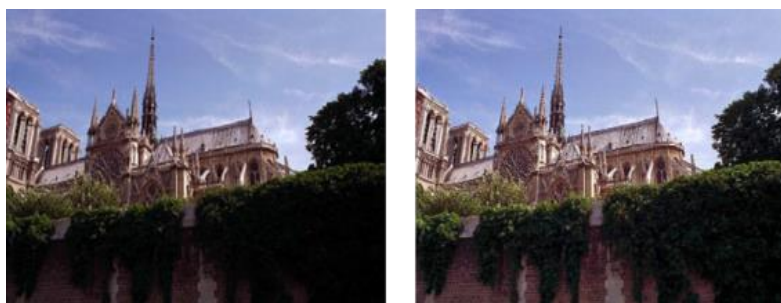


Рис. 2. Преобразование изображения с использованием методов «глобальной» адаптации яркости и улучшение локального контраста [8]

Оптимизация изображения с помощью функции восприятия яркости глазом человека в зависимости от длины волны света использовал Динг [10] при разработке другого метода тональной компрессии. Данный метод реализуется в три этапа: а) получение максимального значения яркости изображения; б) адаптивная настройка яркости; в) восстановление первоначального цвета. При этом на первом этапе определяется максимальное значение яркости всего изображения. Для этого преобразуются три базовых цвета изображения: красный, зеленый и синий (система *RGB* – Red, Green, Blue) в цветовую модель *YUV*, в которой цвет разделяется на его яркость (*Y*) и две цветоразностные координаты (*U* и *V*). При трансформации цвета в цветовую модель не учитываются никакие параметры дисплея. После преобразования находится максимальное значение яркости (*Y*), которое на втором этапе адаптируется по похожему принципу как в HDR1-методе. На третьем этапе происходит восстановление первоначального цвета. Конечный результат применения данного метода тональной компрессии показан на рис. 3.



Рис. 3. Преобразование изображения с использованием цветовой модели *YUV* [10]

Яркость за счет диффузного отражения интенсивного внешнего излучения учитывается в методе тональной компрессии Мантиука [11]. Данный метод основан на использовании двух моделей – модели гамма-коррекции дисплея и визуальной модели. Модель гамма-коррекции дисплея под названием GOGO (от англ. Gain-Offset Gamma-Offset) имеет некоторое сходство с предлагаемым алгоритмом и описывается выражением:

$$L_d(L') = (L')^\gamma * (L_{Max} - L_{Black}) + L_{Black} + \left(\frac{R_d}{\pi} \right) \cdot E_{Ambient} \cdot \quad (5)$$

В визуальной модели метода тональной компрессии используется порог различия JND (от англ. just-noticeable difference), который также имеет сходство с соответствующим параметром в предлагаемом методе. Результат преобразования изображения, используя метод гамма-коррекции и визуальной модели представлен на рис. 4.

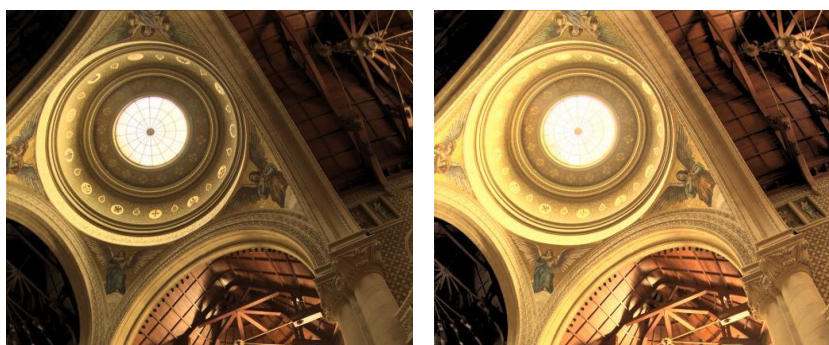


Рис. 4. Результат применения модели гамма-коррекции дисплея и визуальной модели для интенсивности внешнего освещения $E_{Ambient} = 10^4$ лк [11]

Таким образом, сравнительный анализ всех вышеперечисленных методов тональной компрессии показал, что все они демонстрируют неплохие результаты – скорректированное изображение смотрится намного ярче, чем оригинальное, тем самым оно будет лучше восприниматься человеком даже в условиях интенсивного внешнего освещения.

Основные преимущества предлагаемого метода по сравнению с вышеперечисленными вытекают из следующего:

1) использование параметров дисплея для получения наилучших преобразований именно для этого дисплея;

2) использование параметров наружной засветки для получения оптимального увеличения яркости.

В параметры дисплея включены его максимальная и минимальная яркости, цветность и коэффициент отражения. При помощи данных параметров возможна наилучшая адаптация яркости и цвета при влиянии внешнего освещения. Результаты преобразования после применения этих методов тональной компрессии в комбинации с методом цветокоррекции показаны на рис. 5. На рис. 5 слева отображено оригинальное изображение, метод ΔE (в центре) и ΔL (справа). Преобразование производилось с учетом параметра внешнего освещения $E_{Ambient} = 5 \times 10^3$ лк.

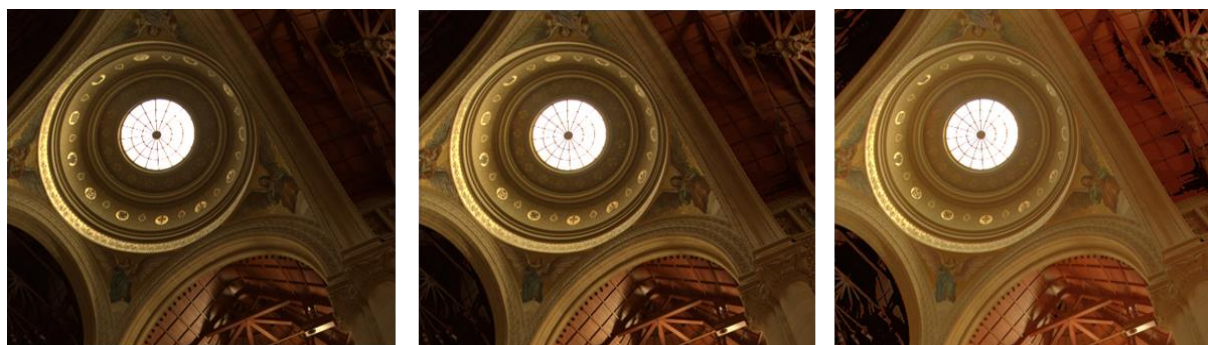


Рис. 5. Визуализация разработанных алгоритмов при внешнем освещении $E_{Ambient} = 5 \times 10^3$ лк

Сравнивая результаты преобразования, можно отметить, что преобразованное изображение значительно ярче оригинального, тем самым удалось улучшить «читаемость» деталей в темных областях (слева под аркой). Если сравнивать цвета, то можно отметить, что насыщенность цвета не изменилась, то есть не наблюдается эффекта «вымывания» цвета.

Заключение

Проведен сравнительный анализ существующих методов тональной компрессии по коррекции изображений жидкокристаллических дисплеев в условиях интенсивной внешней засветки, описаны основные принципы их работы. Представлены разработанные авторами методы тональной компрессии и проведено их сравнение с описанными в литературе, при этом можно констатировать, что:

- все рассмотренные методы увеличивают яркость изображения по определенной модели, тем самым результаты преобразования отличаются друг от друга,
- преимущество предлагаемых методов тональной компрессии и цветокоррекции заключается в комплексном учете параметров как самого дисплея, так и внешнего освещения.

Таким образом при применении метода тональной компрессии изображение становится ярче, тем самым становится более удобочитаемым при влиянии внешнего освещения на поверхность дисплея. При дополнительном применении метода цветокоррекции, координаты всех цветов изображения остаются без изменения.

COMPARISON OF TONE MAPPING METHODS DURING IMAGES PROCESSING ON LIQUID CRYSTAL DISPLAYS

A.V. SYCEV, A.A. STEPANOV, A.G. SMIRNOV, K. BLANKENBACH

Abstract

Image enhancement algorithms improve readability on liquid crystal displays under bright ambient light conditions and are the theme of many researchers and developers. The existing problem is the reflection on the surface of the display under bright light source and is relevant in many applications. Several methods of tone mapping (gamma adaptation), which were compared with existing models related to «improving the image under bright ambient light conditions» are developed.

Список литературы

1. *Blankenbach K., Sycev A., Kurbatfinski S. et. al.* // J. of the Society for Information Disp. 2014. Vol. 22, Iss. 5. P. 267–279.
2. *Garg K., Nayar K.* // Int. J. of computer vision. 2006. № 75(1). P. 3–27.
3. Non-Photorealistic Rendering. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.cl.cam.ac.uk/teaching/0910/RSL/Richardt.pdf. – Дата доступа: 05.05.2015.
4. *Chang C., Bishop G., Lastra A.* // Computer graphics (SIGGRAPH'99). August, 1999. P. 291–298.
5. *Kerofsky L., Xu X.* // J. of the SID. 2011. Vol. 19. P. 645–654.
6. *Кукта М.* // Society of information displays DIGEST. 2008. Vol. 39, Iss. 1. P. 1336–1338.
7. *Сычѐв А.В., Степанов А.А., Смирнов А.Г. и др.* // Докл. БГУИР. 2015. № 3 (89). С. 23–28.
8. *Chen M., Qiu G., Zhang W. et. al.* // A novel method for digital image enhancement, IDW'09. 2009. P. 495–498.
9. *Drago F., Myszkowski K., Annen T. et. al.* // The journal of computer graphics forum. 2003. Vol. 22, № 3. P. 419–426.
10. *Ding X., Wang X., Xiao Q.* // IEEE international conference on image analysis and signal processing (IASP). 2010. P. 79–82.
11. *Mantiuk R., Daly S., Kerofsky L.* // ACM Transactions on Graphics (Proc. SIGGRAPH). 2008. Vol. 27 (3). 68.1–68.10.