

Low Image Distortion Constrained Power Saving for OLED Displays

Пучков Кирилл, ФУПМ, 777

15 April 2019

Большинство современных смартфонов оснащены *OLED*-дисплеями. Уменьшение энергопотребления телефона всегда являлось приоритетной задачей производителя. В этой статье предложен метод малого искажения изображения, способствующий уменьшению энергопотребления дисплеем. Данный метод, в свою очередь, основан на двух методах: гамма-коррекции и масштабировании насыщения.

Вначале мы изучим вклад последних двух методов на энергопотребление дисплея. В результате увидим, что изменяя значение γ и насыщенность S можно добиться значительного снижения энергозатрат, получив на выходе измененную картинку, слабо отличимую от оригинала. Однако низкое γ -значение и высокая насыщенность могут исказить картинку до неузнаваемости, поэтому мы используем формулу цветового различия *CIEDE2000* и средний индекс структурного сходства *MSSIM* (Mean Structural Similarity Index) для определения эффективности нашего подхода.

Вступление

Мобильные устройства можно рассматривать, как множество разнообразных элементов: центральный процессор, дисплей, *Wi-Fi*-интерфейс-контроллер, *Bluetooth* адаптер, *GPS*, аудио и прочие. Известно, что процессор, экран и беспроводной сетевой интерфейс самые энергозатратные составляющие.

Экраны обычно делят на 2 группы: эмиссионные и неэмиссионные. Эмиссионные дисплеи сами преобразуют электрическую энергию в свет, а неэмиссионные используют оптические эффекты для преобразования света в графический рисунок.

OLED (Organic Light Emitting Diode) — органические светодиоды эмиссионного типа. Благодаря своей структуре каждым пикселем можно управлять отдельно. Каждый пиксель, в свою очередь, состоит из малейших суб-пикселей, которые могут излучать три базовых цвета: красный, зеленый, синий. Из опытов было получено, что пиксели разного цвета потребляют разное количество энергии.

Предложенный метод

Модель энергопотребления OLED дисплеями

Для расчета энергопотребления содержимого OLED дисплея предложена формула энергопотребления содержимого дисплея на пиксельном уровне:

$$P_{content} = \sum_{i=1}^n P_{pixel}^i = \sum_{i=1}^n (w_0 + w_1 \cdot R_i^\gamma + w_2 \cdot G_i^\gamma + w_3 \cdot B_i^\gamma)$$

Где:

- n - количество пикселей на экране
- w_0 - потребление мощности каждого пикселя в выключенном состоянии ($\sum_i w_0$ — энергопотребление матрицы пикселей)
- $R_{ith}, G_{ith}, B_{ith}$ — 3 составляющие цвета i -ого пикселя
- γ - гамма-значение содержимого дисплея в стандартной *RGB*-модели
- $w_1 : w_2 : w_3 = 24 : 35 : 50$ - константы эффективности красного, зеленого, синего цветов соответственно (обратно пропорциональны эффективности мощности). В процессе старения экрана они меняются, но мы будем считать их константами

Энергопотребление OLED дисплея определяется яркостью экрана и энергопотреблением его содержимого:

$$P_{display} = L \cdot P_{content} + P_{base}$$

Где:

- L - яркость экрана ($\in [0, 255]$)
- P_{base} - энергопотребление других элементов дисплея (например контроллера)

Гамма-коррекция

Гамма-коррекция перераспределяет тональные уровни ближе к тому, как их воспринимают наши глаза. На 1 картинке верхняя строка показывает как воспринимается яркость человеческим глазом: при увеличении яркости в 2 раза (например, от 0.1 до 0.2) картинка действительно выглядит так, будто она в два раза ярче: изменения видны довольно отчетливо. Однако, когда мы говорим о физической яркости света, как, например, о количестве фотонов, выходящих из источника света, верную картину дает нижняя шкала. На ней удвоение значения дает правильную с физической точки зрения яркость, но поскольку наши глаза более восприимчивы к изменениям темных цветов, это кажется несколько странным.

Поэтому для записи изображения исходные значения пикселей преобразуются так, что в темной области диапазон цветов растягивается, а в светлой сжимается (гамма-кодирование).

На картинке 2 красной сплошной линией показано изменения сигнала гаммой монитора. Идея гамма-коррекции заключается в том, чтобы применить инверсию гаммы монитора к окончательному цвету перед выводом на монитор. Снова посмотрим на график гамма-кривой, обратив внимание на еще одну линию, обозначенную штрихами, которая является обратной для гамма-кривой монитора. Мы умножаем выводимые значения цветов в линейном пространстве на эту обратную гамма-кривую (делаем их ярче), и как только они будут выведены на монитор, к ним применится гамма-кривая монитора, и результирующие цвета снова станут линейными. По сути мы делаем промежуточные цвета ярче, чтобы сбалансировать их затенение монитором.

Соотношение выходящего сигнала L_{out} и входящего L_{in} определяется формулой:

$$L_{out} = L_{max} \cdot L_{in}^{\gamma}$$

Где L_{max} — максимальная яркость пикселей.

Повышая значение γ , темные области изображения становятся более четкими. Понижая, наоборот, можно сделать светлые места более различными. На рисунке 3 применены 5 различных значений γ к двум картинкам.

Низкое значение γ может значительно уменьшить энергопотребление. Однако темные регионы могут стать неразличимы и, следовательно, из-за сильного искажения картинка перестанет быть удовлетворительной.

Для сравнения двух рисунков применяются метод среднеквадратичного отклонения MSE и вычисление пикового отношения сигнала к шуму $PSNR$. Однако данные алгоритмы не учитывают особенности чело-

вещеского восприятия. Для этого применяются другие методы измерения схожести: *CIEDE2000* и *MSSIM*.

Метод *CIEDE2000*:

$$\Delta E = \sqrt{\left(\frac{\Delta L}{K_L \cdot S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C}{K_C \cdot S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H}{K_H \cdot S_H}\right)^2} + R_T$$

Где:

- ΔE - цветовая разница
- $\Delta L, \Delta C, \Delta H$ - арифметическая разница яркостей, насыщенности и тона соответственно
- S_L, S_C, S_H - компенсация для яркости, насыщенности и тона соответственно
- K_L, K_C, K_H - параметрические константы
- R_T - погрешность в синей области (очень мала)

Метод *MSSIM* делит картинку на окна для того, чтобы учесть, что пиксели имеют сильную взаимосвязь, особенно когда они близки пространственно. Для вычисления *MSSIM* изображение обводится окном фиксированного размера с центром по очереди в каждом пикселе (размер окна может быть разным). Математическое ожидание, дисперсия и ковариация высчитываются для окон x и y одинакового размера. μ и σ в формуле - это выборочное математическое ожидание и выборочная дисперсия значений пикселей внутри окна.

$$MSSIM(x, y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(2 \cdot \mu_x \cdot \mu_y + c_1) \cdot (2 \cdot \sigma_{xy} + c_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + c_1) \cdot (\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + c_2)}$$

Где:

- μ — математическое ожидание
- σ^2 - дисперсия
- σ - ковариация

$MSSIM \in [-1; 1]$. Значение близкое к 1 значит, что обработанные изображения почти идентичны. И наоборот, значение близкое к -1 значит, что картинки сильно отличаются. На графике 2 показано отношение *MSSIM* к γ .

Определим M_0 как порог восприятия $MSSIM$. Если значение $MSSIM$ больше либо равно 0,99, то картинки нельзя различить. В нашем опыте примем $M_0 = 0.99$.

Для получения энергопотребления двух изображений, мы рассматривали гамма-коррекцию $\in [0.1; 15]$, изменяя значение освещенности от 0 до 255. Повышенная освещенность изображения способствует улучшению четкости картинки, когда она затемнена. Однако высокая яркость требует больше энергии. С другой стороны, низкая освещенность может помешать конечному пользователю различать содержимое, особенно в затемненных областях.

Поэтому предложена была идея затемнять картинку до наименьшего удовлетворительного порога, тем самым добившись уменьшения энергопотребления.

Рассмотрим псевдокод метода гамма-корректировки GC .

Установим вначале значение $\gamma = 0$, создадим выходное изображение. Увеличив $\gamma = \gamma + 0.1$, изменим каждый пиксель картинки и перепишем в выходное изображение. Будем увеличивать γ до тех пор, пока $m < M_0$. Когда m станет $\geq M_0$, вернемся на шаг назад и будем приближаться к нужному порогу сотыми: $\gamma + 0.01$. Если в результате получено значение $\gamma < 1$, то мы получили похожее изображение с меньшим энергопотреблением.

Масштабирование насыщения

Насыщение S определим, как преобладание тона в модели HSV . По определению:

$$S = \begin{cases} 0, & \text{if } \max(R, G, B) = 0 \\ \frac{\max(R, G, B) - \min(R, G, B)}{\max(R, G, B)} & , \text{ otherwise} \end{cases}$$

В цветовой модели HSV насыщение $S \in [0; 1]$. Спектральный график насыщенности цвета от 0 до 1:

Аналогично изменению гамма-коррекции, мы можем изменить в некоторых диапазонах насыщенность картинки, при этом оставив ее похожей на свой оригинал.

Для измерения вклада насыщенности в энергопотребление картинки, мы меняли значение насыщенности, оставляя неизменными тон и яркость. Как показано на графике, энергопотребление изображений спадает с повышением насыщенности. Это становится еще более наглядно с повышением γ .

Этот факт является одним из важнейших в данной статье. Руководствуясь логикой, менее насыщенный цвет становится ближе к белому, а энергопотребление у белого - максимально.

Определим "порог насыщения"— максимальное значение насыщения, при котором выходное изображение все еще приемлемо. Для этого рассмотрим псевдокод метода масштабирования насыщения SS .

Установим значение $s' = 1$, то есть максимальное значение насыщенности (минимальное энергопотребление). Переведем каждый пиксель исходного изображения из RGB модели в HSV . Увеличим исходное значение насыщенности пикселя, по полученному значению создадим новый пиксель и вернем в выходное изображение. После преобразования всех пикселей сравним два изображения. Будем уменьшать s' , пока изображения не станут похожи. Аналогично методу гамма-коррекции, получим значение насыщенности с точностью до сотых. Если полученное значение насыщенности больше исходного, то мы получили более насыщенную картинку с меньшим энергопотреблением.

Теперь применим последовательно оба метода (гамма-коррекции GC и масштабирования насыщения SS) в методе GS . Оба метода имеют временную сложность — $O(N)$ операций умножений и сложения, где N — количество пикселей на экране телефона. Для ускорения программы можно искать значения γ и S_0 путем двоичного поиска, а не итерационным. Также параллельное преобразование пикселей даст большой выигрыш во времени.

Результаты

Первый столбец - оригинальная картинка. Во втором столбце показаны допустимые искажения изображения методом гамма-коррекции. Как видно, картинки стали несколько темнее, по сравнению с изначальными.

Третий столбец показывает картинки, после воздействия на них масштабирования насыщения. Последний столбец показывает изображение, измененное методом GS . Оно более темно и насыщенно в сравнении с оригиналом.

Вывод

Метод гамма-коррекции и масштабирования насыщения позволяет уменьшить энергопотребление $OLED$ дисплеями с малым искажением исходной картинки. Была предложена модель измерения мощности для эмис-

сионных экранов, а также 2 формулы проверки отличия полученного изображения от первоначального. Мы изучили вклад гамма-коррекции и масштабирования насыщения в энергопотребление, а также продемонстрировали работу всех трех методов на изображениях. В результате наш метод дает значительный спад в энергопотреблении при допустимых потерях в качестве.