

Low Image Distortion Constrained Power Saving for OLED Displays

Reading Group ИППИ
Пучков Кирилл, 777

План работы

В этой статье предложен метод малого искажения изображения, способствующий уменьшению энергопотребления дисплеем.

1. Изучим вклад двух методов: гамма-коррекции и масштабирования насыщения — на энергопотребление дисплея. В результате увидим, что изменяя значение γ и насыщенность S можно добиться значительного снижения энергозатрат.
2. 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.

OLED vs LED LCD

- ❖ В LCD-панелях используются жидкие кристаллы.
- ❖ За жидкими кристаллами находится фоновая подсветка.
- Каждый органический светодиод OLED-экрана светится сам по себе. Все это работает с помощью двух прозрачных электродов, между которыми находятся органические полупроводниковые слои.
- Яркость свечения регулируется силой тока.

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

Модель энергопотребления OLED дисплеями

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)

CIEDE2000

Формула CIEDE2000 сравнивает поочередно значения пикселей в модели HSV по заданной формуле и потом усредняет значение по всем пикселям.

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

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)

MSSIM

Метод MSSIM делит картинку на окна для того, чтобы учесть, что пиксели имеют сильную взаимосвязь, когда они близки пространственно. В каждом пикселе выбирается окно 8x8, в котором происходит оценка качества для отдельной компоненты изображений.

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

Где:

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

M_0

MSSIM возвращает значение в пределах $[-1;1]$. Значение близкое к 1 значит, что обработанные изображения почти идентичны.

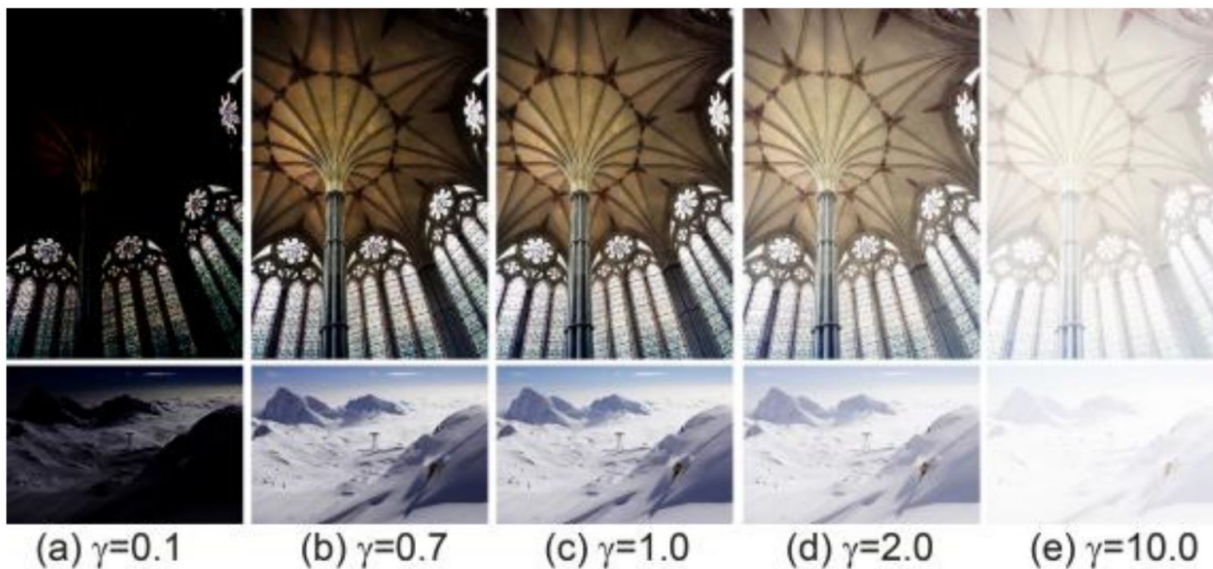
Определим M_0 как порог восприятия MSSIM. Если значение MSSIM больше либо равно 0,99, то картинки нельзя различить. В наших опытах примем $M_0 = 0.99$.

Гамма-коррекция

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

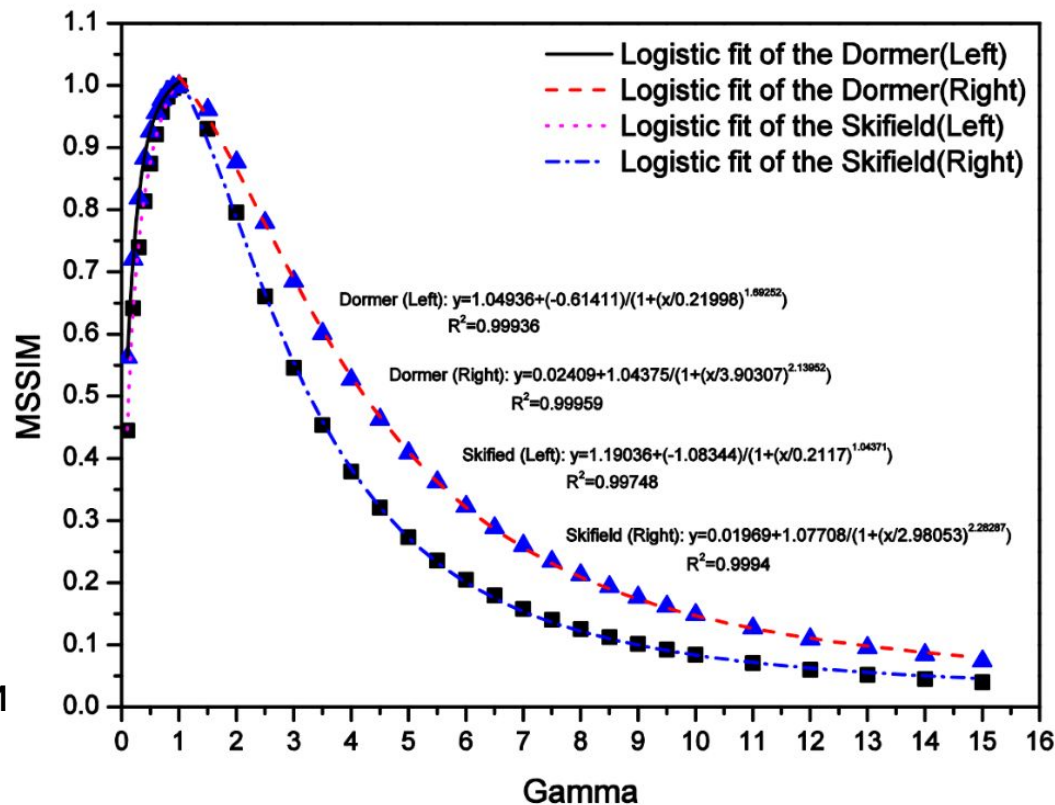
$$L_{out} = L_{max} \cdot L_{in}^{\gamma}$$

Где L_{max} — максимальная яркость пикселей.



Хорошего должно быть в меру

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 в этой статье применяются методы измерения схожести CIEDE2000 и MSSIM.



Метод GC

На вход алгоритма подается изначальное изображение и порог восприятия M_0 . Применим гамма-коррекцию последовательно ко всем пикселям исходного изображения. В конце каждой итерации внешнего цикла сравниваем исходное и измененное изображения. Будем увеличивать γ , пока m не станет $\geq M_0$. Тогда вернемся на шаг назад и будем приближаться к требуемому значению уже сотыми.

```
Input: original image I.  
Output: output image I'.  
1:  $m \leftarrow -1; n \leftarrow 1; \gamma \leftarrow 0; oldm \leftarrow -1; old\gamma \leftarrow \gamma;$   
2: WHILE  $m < M_0$  DO  
3:    $oldm \leftarrow m; old\gamma \leftarrow \gamma;$   
4:    $\gamma \leftarrow \gamma + (0.1)^n;$   
5:   pixel (x, y)  $\leftarrow$  get the first pixel of I;  
6:   WHILE pixel (x, y) of I is exist DO  
7:     read r, g, b of pixel (x, y);  
8:     calculate r', g', b' using gamma function with  $\gamma$ ;  
9:     write r', g', b' to pixel (x, y) of I';  
10:    pixel (x, y)  $\leftarrow$  get the next pixel of I;  
11:  END WHILE  
12:   $m \leftarrow$  the MSSIM value between I and I';  
13: END WHILE  
14: IF  $n \leq 1$  THEN  
15:    $m \leftarrow oldm; \gamma \leftarrow old\gamma;$   
16:    $n \leftarrow n + 1;$   
17:   go to line 2;  
18: END IF
```

Насыщенность цвета

Масштабирование насыщенности

Насыщенность S определим:

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

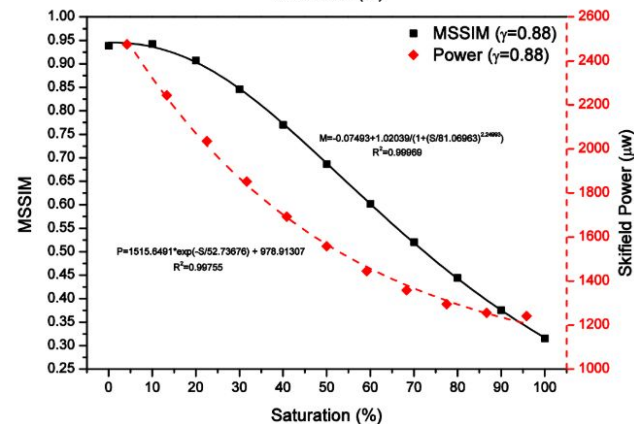
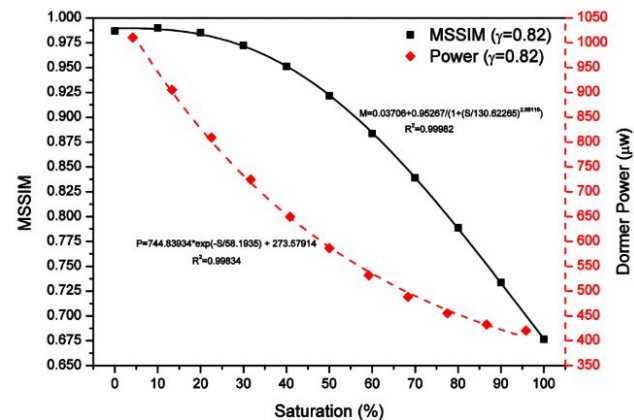
В цветовой модели HSV насыщенность $S \in [0; 1]$. Спектральный график насыщенности цвета от 0 до 1:



Масштабирование насыщенности

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 в белому, а энергопотребление у белого - максимально.



Метод SS

Определим "порог насыщения" S_0 , при котором выходное изображение все еще приемлемо.

На вход алгоритма подается изначальное изображение и M_0 . Увеличим насыщенность каждого пикселя исходного изображения. В конце каждой итерации внешнего цикла сравниваем исходное и измененное изображения.

Будем увеличивать насыщенность, пока m не станет $\geq M_0$. Тогда вернемся на шаг назад и будем приближаться к требуемому значению уже сотыми.

```
Input: original image I.  
Output: output image I'.  
1:  $m \leftarrow -1$ ;  $n \leftarrow 1$ ;  $s' \leftarrow 1$ ;  $oldm \leftarrow -1$ ;  $olds' \leftarrow 1$ ;  
2: WHILE  $m < M_0$  DO  
3:    $oldm \leftarrow m$ ;  $olds' \leftarrow s'$ ;  
4:    $s' \leftarrow s' - (0.1)^n$ ;  
5:   pixel (x, y)  $\leftarrow$  get the first pixel of I;  
6:   WHILE pixel (x, y) of I is exist DO  
7:     read r, g, b of pixel (x, y);  
8:     convert r, g, b to h, s, v;  
9:     IF  $s' \geq 0$  THEN  
10:       $s' \leftarrow s + (1 - s) \times s'$ ;  
11:     ELSE IF  $s' < 0$  THEN  
12:       $s' \leftarrow s \times (1 + s')$ ;  
13:     END IF  
14:     convert h, s', v to r', g', b';  
15:     write r', g', b' to pixel (x, y) of I';  
16:     pixel (x, y)  $\leftarrow$  get the next pixel of I;  
17:   END WHILE  
18:    $m \leftarrow$  the MSSIM value between I and I';  
19: END WHILE  
20: IF  $n \leq 1$  THEN  
21:    $m \leftarrow oldm$ ;  $s' \leftarrow olds'$ ;  
22:    $n \leftarrow n + 1$ ;  
23:   go to line 2;  
24: END IF
```

GC+SS=GS

Мы нашли два способа снижения энергозатрат путем изменений структуры изображений. Оба метода независимы, так что мы можем применить их последовательно для любой картинки. Методы имеют временную сложность — $O(N)$ операций умножений и сложения, где N — количество пикселей на экране телефона.

Для ускорения программы можно:

- 1) Искать значения γ и S_0 двоичным поиском
- 2) Параллельно преобразовывать пиксели

Результаты на изображениях



Снижение энергозатрат картинкой

Images	MSSIM	ΔE	γ	Saturation	Power (μW)
Sea (Original)	1	0	-	-	1566
Sea (GC)	0.99	9.25	0.78	-	1242
Sea (SS)	0.99	1.86	-	0.13	1489
Sea (GS)	0.97	10.14	0.78	0.13	1188
Lion (Original)	1	0	-	-	1305
Lion (GC)	0.99	3.49	0.82	-	1042
Lion (SS)	0.99	2.98	-	0.14	1223
Lion (GS)	0.97	9.77	0.82	0.14	986
Bird (Original)	1	0	-	-	445
Bird (GC)	0.99	6.45	0.78	-	332
Bird (SS)	0.99	0.19	-	0.19	433
Bird (GS)	0.98	6.45	0.78	0.19	325

Энергопотребление до и после

