

странстве RGB, что могло бы привести к смещению оттенков. Согласно ITU-R BT.2390-09 типичная сигмовидная форма, используемая для отображения освещения сцены демонстрирует сжатие или обрезание крайних ярких и темных областей, а в средней области – повышение контрастности (гамма больше 1). Гамма настраивается на пиковую яркость L_w монитора и регулируется в зависимости от условий просмотра контента и предпочтений пользователей, например, $\gamma = 1,18$ для OLED-дисплея (Sony BVM-X300) с $L_w = 1000$ кд/м²; $\gamma = 1,20$ для эталонного дисплея с $L_w = 1000$ кд/м²; $\gamma = 1,29$ для ЖК-дисплея (Canon DP-V3010) с $L_w = 2000$ кд/м². Для дисплеев с номинальной пиковой яркостью более 1000 кд/м² или где эффективная номинальная пиковая яркость снижается за счет использования регулятора контрастности, гамму следует регулировать в соответствии с формулой ITU-R BT.2390-09:

$$\gamma = 1,2 + 0,42lg\left(\frac{L_w}{1000}\right). \quad (1)$$

За пределами диапазона пиковой яркости соответствие модели начинает ухудшаться. Расширенная модель Rec. ITU-R BT.2390-7 показывает варьирование значений гаммы для сопоставления изображений с разной пиковой яркостью экрана: $\gamma = 0,85$ для $L_w = 100$ кд/м²; $\gamma = 0,88 \sim 0,95$ для $L_w = 200$ кд/м²; $\gamma = 0,97 \sim 1,05$ для $L_w = 300$ кд/м²; $\gamma = 1,1 \sim 1,29$ для $L_w = 400 \sim 1000$ кд/м²; $\gamma = 1,29 \sim 1,5$ для $L_w = 1000$ кд/м² и выше. Модель описывается формулой ITU-R BT.2390-7:

$$\gamma = 1,2k^{log_2(0,001L_w)}, \quad (2)$$

где $k = 1,111$.

Эксперименты BBC показали уменьшение гаммы по мере увеличения яркости окружающего пространства [BT.2390]: от 0,8 до 0,67 для $L_w = 100$ кд/м²; от 1,33 до 1,35 для $L_w = 1000$ кд/м². Линия наилучшего соответствия в условиях, отличных от эталонных, задается уравнением ITU-R BT.2390-09:

$$\gamma_{bright} = \gamma_{ref} - 0,076lg\left(\frac{L_{amb}}{5}\right), \quad (3)$$

где γ_{bright} – системная гамма для окружения дисплея более 5 кд/м²; γ_{ref} – системная гамма для эталонной среды, рассчитанная в соответствии с рекомендацией ITU-R BT.2100; L_{amb} – уровень яркости окружающей среды.

Альтернативная модель Борера включает в себя изменение гаммы с яркостью окружения [2]:

$$\gamma = \gamma_{ref} k^{log_2(L_w/L_{ref})} \cdot \mu^{log_2\left(\frac{L_s}{L_{sref}}\right)}, \quad (4)$$

где $\gamma_{ref} = 1,2$, $\mu = 0,98$, а эталонная яркость окружения $L_{sref} = 5$ кд/м².

Для более яркого фона значение системной гаммы может быть уменьшено. Корректировка гаммы для SDR-контента довольно близка к корректировке для HDR-контента, поэтому формула гаммы расширенного диапазона, приведенная в BT.2100-2, также может быть адаптирована для расчета изменения гаммы для масштабированного SDR. Для удвоения отображаемой яркости со 100 до 200 кд/м² формула становится [2]:

$$\gamma_{adj} = k^{log_2 2}, \quad (5)$$

где $k = 1,111$.

Анализ показал, что большинство подходов ориентируется на пиковую яркость эталонных мониторов, эталонные условия и среду просмотра с применением цветовых пространств (PCSXYZ или PCSLAB). Согласно ITU-R BT.2020 «идеальная» OETF может быть логарифмической в высоких тонах и описываться гамма-законом при слабом освещении, что, по сути, является формой гибридного логарифмического OETF.

Литература

1. ICCExperts' Day on HDR Colour Imaging [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.color.org>. – Дата доступа: 5.093.2022.
2. T. Borer, Display of high dynamic range images under varying viewing conditions, Proc. SPIE 10396, Applications of Digital Image Processing XL, 103960H (19 September 2017). <http://dx.doi.org/10.1117/12.2274253>