

Методика калибровки видеосистемы при помощи программы Calibrilla v.3.4/4.2 и 5.0

Методику описал (12.06.2010) Алексей Кобзарь
«Методика калибровки видео системы при
помощи программы Calibrilla v.3.4/4.2...5.0(b2196)».

По всем вопросам и ошибкам, пишите мне на
электронную почту alex.sikorsky.7@gmail.com

Последняя правка от (30.01.2019)

Содержание справки:

1. Введение в калибровку устройств отображения.
2. Органы управления монитором при его калибровке.
3. Интерфейсы и видеостандарты:
 - Интерфейс видеопары
 - Видеостандарты телевидения SDTV, HDTV и UHDTV
 - Стандарты отображения цвета и рекомендации 601 и 709, 2020
 - Управление цветом и стандартизированные цветовые пространства.
4. Методика визуальной калибровки:
 - Предварительная проверка и настройка монитора
 - Визуальная калибровка монитора
 - Настройка точки чёрного — «BP»
 - Настройка точки белого — «WP»
5. Дополнительные тестовые наборы.
6. Внедрение кривых тонопередачи в профиль ICM.

1. Введение в калибровку устройств отображения.

Видеосистема состоит из ряда мониторов и видеоадаптеров. К одному современному видеоадаптеру, как правило, можно подключить более одного монитора, поскольку они обладают, как минимум, двумя выходами — аналоговым и цифровым, или двумя цифровыми, связывающими монитор с видеоадаптером по разному типу интерфейса. Материнские карты позволяют устанавливать от одного до 4-х — 6-ти видеоадаптеров (так, материнская плата от Gigabyte GA-890FXA-UD7 для AMD, имеет шесть полноразмерных слотов PCI-E).

В любом случае, калибруется всегда **видеопара** (одна видеопара состоит из одного видеоадаптера и одного монитора, что, по сути, и является устройством отображения). В многомониторных системах на единой платформе (рабочей станции), как и в группе видеосистем, настроенных для выполнения идентичных задач¹, входящих в единый проект или единую технологическую линию, параметры калибровки выбираются по «слабому звену».

Слабое звено — видеопара, которая показывает наихудший результат по параметрам отображения, но при этом покрывающая требования ISO по настройке систем цветовоспроизведения.

Профилирование видеопары, состоит из последовательно проведённых калибровки (линеаризации) и характеристики видео системы, с получением профиля отображения (*.icm).

Во время калибровки, настройки монитора приводятся к целевым настройкам по ряду параметров:

- уровень энергетической яркости точки белого и точки чёрного, которая выражается в канделах на квадратный метр ($80 \div 85 \text{ Cd/m}^2$ и $0,35 \div 0,40 \text{ Cd/m}^2$ для sRGB*);

¹ Группы видеосистем с едиными настройками профилирования: системы нелинейного видеомонтажа, издательские задачи, цветокоррекция фотографий и иллюстраций в фотографических центрах и бюро цифровой оперативной печати.

- цветовая температура белой точки монитора, в ряде экспертных систем и чёрной точки, которая выражается в кельвинах (6500k для sRGB*);
- кривая коррекции градаций яркости (функция гамма-коррекции) системы отображения, которая определяет значение коэффициента контрастности ($\gamma=2.2$ *).

** - цветовое пространство sRGB взято для примера, целевые параметры могли быть выбраны и относительно другого цветового пространства или стандарта ISO.*

Порядок настройки этих параметров определяется возможностями конкретного монитора.

Во время характеристики производится аппаратный замер цветового охвата монитора с построением *.icm профиля видеопары. При этом настройки, произведённые во время калибровки, либо заносятся в соответствующие теги цветового профиля монитора (*.icm), либо загружаются из текстового файла или соответствующего тега icc профиля (*.icm) дополнительным модулем при загрузке системы. В качестве загрузчика линеаризации в LUT VA (здесь и дальше по тексту VA — видеоадаптер) обычно выступает дополнительная утилита программы аппаратной калибровки. Также, это может быть программа стороннего производителя, такая, как Calibrilla, которая вдобавок умеет загружать линеаризацию для нескольких мониторов в LUT VA при едином видео адаптере. Кстати, это так и не умеет делать Windows XP, и что было обещано реализовать в Windows Vista, а теперь уже в Windows 7. Последняя пока имеет ряд ошибок, и в их числе: два монитора, определяемые из разных «кнопок ссылок» программы по управлению цветом, могут опознаваться по-разному. И где из них 1й, а где 2й может быть перепутано и на сегодня (01.06.2011) эта ошибка не исправлена. Поэтому внимательно прописывайте и проверяйте загрузку из реестра данных для LUT VA.

В качестве профиля (отображения) можно использовать и стандартный заводской мониторный профиль, в котором есть описание основных параметров монитора: параметры опорных хроматических цветов триады RGB и температуры «Native» точки белого «WP», описанные в координатах цветового пространства (XYZ).

Но среднестатистический профиль для модели монитора, предоставляемый производителем, не может отображать данные конкретного устройства (монитора), и создан для сравнения этой модели с другими, присутствующими на рынке. Также его можно использовать в качестве первичного профиля при начальной калибровке устройства.

Можно сгенерировать такой профиль при помощи Adobe PhotoShop, взяв эти же параметры из данных, прошитых в самом мониторе во время его заводской калибровки на производстве (при помощи программы Monitor Asset Manager v.2.50 freeware). Это будет оптимальным только для нового монитора первые два-три месяца его работы. После длительной эксплуатации параметры люминофора меняются по причине выгорания красителей самого люминофора (особенно ощутимо это для мониторов на ЭЛТ) и изменении параметров лампы подсветки (для ЖК-мониторов). Обычно после длительной эксплуатации настройки тонопередачи устройства меняются. Подсветка «садится», становится темнее, меняет свою коррелированную температуру, после чего уже не отвечает параметрам, прошитым в мониторе при его выпуске. Менее выражено выгорание колорантов, в которые окрашены субпиксели матрицы дисплея — для этого нужен больший срок эксплуатации. Именно по этой причине нужна периодическая аппаратная калибровка и профилирование монитора.

Инструментальные средства калибровки и профилирования делятся на четыре следующих типа:

- средства, поставляемые вместе с мониторами и подключаемые непосредственно к монитору «напрямую», через специальные разъёмы;
- автономные программно-аппаратные средства;
- автономные программно-аппаратные средства, поддерживающие различные измерительные приборы;
- визуальные калибраторы, к которым относится и **Calibrilla**

В случаях, когда есть необходимость свести параметры многомониторной системы к единым настройкам по гамме, яркости и контрасту (при отображении единого изображения, распределённого между экранами), можно воспользоваться визуальной калибровкой. Для этого в качестве профиля для мониторов, если модели и мониторы идентичны, следует воспользоваться либо заводским профилем (с заводскими параметрами, среднестатистическими для модели) либо сгенерированным профилем. Внимание! Даже в одной серии могут использоваться разные модели матриц с разными параметрами как хроматических цветов RGB люминофора, так и с разными по характеристикам лампами подсветки, отвечающими за опорный белый свет в режиме Native (исходный цветовой баланс). Если многомониторная система построена на разных мониторах, то нужно определиться с тем, какой монитор будет «ведущим» (основным по цветоотображению) для системы, и загружать профиль только для него.

К этим же мерам можно прибегнуть для визуальной калибровки всего одного монитора, используемого в режиме Native, или для цветового режима sRGB (стандартное цветовое пространство для интернет-браузеров). При совместном использовании во время профилирования средств визуальной калибровки и аппаратных средств, можно настраивать видео систему и на иные параметры цветоотображения. Не обойтись без промеров и для мониторов с широким цветовым охватом, особенно, когда один из колорантов намного насыщенней по цвету двух других, или наоборот один имеет намного меньшую насыщенность, чем остальные два. В таком случае для точной настройки точки белого, что будет значимо и для дальнейшей правки градационной кривой тонопередачи согласно выбранной гамме, необходимо воспользоваться прибором (колориметр или спектрофотометр) или выбрать готовый заводской режим (sRGB или AdobeRGB), где и точка белого и гамма будут предварительно откалиброваны на заводе. Последний режим (AdobeRGB) начал появляться в мониторах с более широким цветовым охватом.

2. Органы управления монитором при его калибровке.

Существует два способа настройки устройства отображения: с помощью инструментальных средств управления самого монитора, доступных через его экранное меню (OSM), и с помощью коррекции сигналов, посылаемых на монитор и формируемых из значений, настраиваемых по справочной таблице LUT (*lookup table*) в видеоадаптере.

Настройка при помощи инструментальных средств управления монитора использует данные, прошитые и откалиброванные в заводских условиях в LUT самого монитора. В этом случае число на уровне LUT монитора может быть описано 8bit (10÷16bit для профессиональных мониторов). Возможный монохроматический сдвиг (для ЖК-мониторов) может быть при этом первоначально не замечен по причине того, что заводские лабораторные приборы (спектрофотометры) обладают достаточно малым шагом спектрального измерения видимого частотного диапазона (шаг замера колориметра выражен в нанометрах, порядка 3÷5 нм для лабораторных приборов). Именно поэтому всегда нужно делать первичную аппаратную калибровку, которая может выявить его наличие (используемые в полиграфии и фотографии приборы имеют больший шаг спектрального замера, порядка 10÷25 нм) и потому могут «не выбрать» резкий энергетический скачок, который проявится в зеленоватом оттенке (реже синем или красном) всего поля экрана дисплея. В таком случае изменять (перекалибровывать) заводские настройки LUT самого монитора не рекомендуется, а сама калибровка требует дополнительной правки кривых тонопередачи инструментальными средствами программы калибровки (что часто бывает доступно только у профессиональных версий) или программными средствами другого софта (каким выступает и **Calibrilla**, тем самым расширяя возможности программно-аппаратных средств калибровки).

К органам управления, расположенным на мониторе, относятся:

- Средства настройки геометрии, работу с которыми мы опустим, выделив лишь значимые для калибровки органы управления:
 - **Sharpness** (резкость), Phase (фаза), Pixel Clock (тактовая частота) — регулируется до начала калибровки, потому как от неё зависит восприятие визуальных тестов, и как следствие, качество калибровки.
 - **Moire** (Horizontal & Vertical) — в ЖК мониторах вместо него есть настройка Sharpness, поэтому работа с этим инструментом аналогична вышеописанному и для монитора ЖК, но функциональное управление при этом у них различное. На базе ЭЛТ этот инструмент может быть разделён на несколько инструментов, при работе с которыми чёткость изображения напрямую зависит от качества сведения электронных пушек.
 - **Expansion** (расширение формата экрана) — может переключаться в формат относительно пропорции экрана, по изображению (относительно геометрического размера экрана по пикселям) или как принудительное расширение экрана по горизонтали и вертикали (а для мониторов в на ЭЛТ: бочка, трапеция, ромбообразный перекося, вращение и пр. регулировки геометрии, которые необходимо настроить до начала калибровки монитора). Для ЖК-мониторов важно выбрать «родное» разрешение, имеющее 100% совместимость с геометрией экрана, без принудительного «растягивания» (интерполирования), когда один или несколько пикселей выбранного разрешения экрана растягивается на не кратное число реальных пикселей матрицы.
- **Brightness** (Яркость) — равномерное изменение тона всего изображения и фона.
- **Contrast** (Контрастность) — изменение максимальной яркости (точки белого), по отношению к неподвижному фону (точке чёрного). Затрагивает весь диапазон тонов кроме самой точки чёрного. В мониторах, где нет настройки «уровень чёрного», контрастность может регулироваться, как изменение точки чёрного (уровня фона) по отношению к точке белого или как синхронное изменение точки белого и чёрного, относительно средней тоновой точки (встречается реже).
- **Black level** (Уровень чёрного) — уровень фоновой подсветки. Установка уровня свечения фона, уровня подсветки, при котором при аппаратном замере не наблюдается «дрожания» сигнала. Является ограничением для инструмента «контрастность». В некоторых случаях при его неправильной реализации на уровне управления монитором, он может зависеть от изменений, произведённых инструментом «контрастность». Работает, как равномерное изменение фонового сигнала по отношению к неизменяемым параметрам точки белого. При этом равномерно меняет данные всего тонового диапазона. В экспертных моделях может быть реализован, как независимый режим правки для каналов цветности RGB, благодаря чему можно настраивать температуру подсветки. В большинстве же мониторов изменяет все три канала одновременно.
- **Temperature** (температура опорного белого цвета) — система управления цветом может содержать 4 стандартных типа палитр для настроек цветности (реже 5 и больше): **sRGB** (6500k, Gamma= 2,2244 для точки 128), **AdobeRGB** (6500k, Gamma= 2,1992), **Native** (исходный), **Programmable** (программируемый) и от 1 до 4 палитр с **настраиваемой цветовой температурой** по каналам RGB для белой точки (в экспертных настройках монитора может содержаться дополнительно настраиваемая по каналам RGB температура для точки чёрного). В некоторых бытовых мониторах эти палитры могут быть неизменяемы по конкретным параметрам, и заменены по названию на абстрактные по применению (кино, графика, фотография, игры) или по типу источника света (теплый белый, нейтральный белый, холодный белый). Настраиваемые палитры могут дополнительно содержать слайдер с пошаговой предварительной настройкой цветовой температуры для всех каналов RGB. Внимание! Режимы **sRGB**, **AdobeRGB** и **Native** настраиваются в заводских условиях, и со временем, как и показания шкалы слайдера, могут не совпадать с начальными параметрами!
- **Saturations** (Насыщенность) для (RGBCMY), **Tint** (Оттенки, как сдвиг по цветовому спектру) для (RGBCMY), **Gamma** (Гамма) для (RGB), **Brightness** (Энергетическая яркость) для (RGB) и пр. подобные — у мониторов с широким цветовым охватом дополнительно могут быть эти

настройки для каждой из цветовых настраиваемых палитр. Некоторые из этих инструментальных **настроек** могут выступать, как общие для следующих по уровню правки пунктов меню. Поканальные **Saturations, Tint, Gamma, Brightness** используются в тех случаях, когда монитор калибруется на определённый видеостандарт или ряд мониторов группы сводятся на единые параметры, именно по этой причине у такого монитора цветовой охват (**Color Gamut**) должен превышать Gamut эмулируемого цветового пространства выбранного стандарта, в противном случае мониторы группы сводятся по слабому звену группы, в случаях, когда они должны отображать цвет идентично. Именно по этим причинам подобные элементы управления установлены на мониторах расширенного цветового охвата (**Wide Gamut**). При создании цветовых моделей обычно учитывают цветовую температуру точки белого, от того при математическом сложении параметров базовых цветов RGB получают точку опорного белого цвета определённого для данной цв. модели или значение показывающее её с минимальной погрешностью.

Внимание! – Иногда правка энергетической яркости для каждого канала отдельно может оказаться правкой по гамме при не правильной реализации такого инструмента в органах управления монитора. Для изменения цветовой температуры изменение параметра гаммы не подходит, потому что это различные параметры! Параметр изменения гаммы отдельно для каждого из каналов цветности обычно реализован только для мониторов, где один или два колоранта намного насыщенней по цвету, и для их уравнивания (с учётом, что в сумме они должны дать ахроматический свет) потребуется разная гамма для разного опорного белого цвета.

Для мониторов, в которых отсутствуют меню с инструментальными средствами управления (мониторы Мас, видеопроекторы, экраны ноутбуков и т.п.) или их функциональность урезана, при калибровке следует использовать программные средства управления этими параметрами, работающими через LUT VA. К инструментальным средствам управления видеосигналом на выходе видеоадаптера относятся, например, средства, реализованные в программе **Calibrilla**:

- **Яркость** (общее изменение энергетической яркости);
- **контрастность** (изменения уровня белого относительно фона);
- **фоновая подсветка** (настройка уровня яркости чёрного);
- **гамма-прирост**, управление точкой чёрного и точкой белого по цветовой температуре (при наличии аппаратных средств контроля);
- **Поточечная настройка кривой гамма-функции дисплея согласно целевой EOFT**. EOFT - *функция электронно-оптического переноса уровней сигнала файла V(Value), в энергетическую яркость свечения монитора – светлоту L (Lightness)*. – Поточечная раздельная, по каждому из каналов, настройка всего диапазона точек, производимая изменением значения выбранной точки с автоматическим пересчётом примыкающего к ней выбранного диапазона точек (выбирается как дополнительный выбор размеров левого и правого плеча диапазона). При изменении основной точки, плечи диапазона пересчитываются по формуле линейной интерполяции;
- **Настройка равномерности отображения градаций тона в светах и в тенях**, или настройка примыкающего диапазона к точке белого и точке чёрного при помощи профилей, описывающих кривые. Это изменение представляет собой пошаговую линейную интерполяцию от начального состояния диапазона точек (тени или светов) к профилю, описывающему плавную кривую. Профили различаются по своей форме (C, J, S и V-образные), редактируемому диапазону точек и максимальной точке отклонения с учётом её позиции в профиле кривой. Этот же инструмент можно использовать и для правки сплайнами разных диапазонов при помощи V-образных кривых (не входят в основной комплект программы и могут быть созданы самостоятельно, как и все остальные профили).
- **Сглаживание кривых тонопередачи**, согласно выбранного метода и его настроек – эта функция может уменьшать точность ряда точек кривой, но при этом делает более плавным и

равномерным визуально яркостный переход от точки к точке, при восприятии градации в несколько значений (от 3х, 4х и более, см. внешние тесты). Функция сглаживания кривых может использоваться, как до начала калибровки, так и в её конце. А также она может применяться отдельно, для результатов аппаратной калибровки, *особенно это бывает необходимо для софта, что строит в LUT VA кривую компенсации не как 16ти, а как 8ми bit-ные значения, за счёт чего на кривой видны изломы (ступеньки) при пересчёте значений в 16bit. Иногда это следствие работы математического алгоритма даже при 16ти bit-ной математике изначально и тогда такие ступеньки обнаруживаются в примыкании к точкам по которым шли замеры кривой.*

В качестве средств визуального контроля при использовании вышеперечисленных инструментов используются визуальные тесты и дополнительные средства графического отображения процесса калибровки. К дополнительным средствам относятся паттерны, устанавливаемые в качестве фона рабочего стола в режиме «замостить» (мозаика), и открываемые при помощи быстрых клавиш внешние тесты, специально созданные для работы с программой.

Коррекция цвета по справочной таблице видеоадаптера (LUT VA) аналогична настройке 8-разрядного канала изображения, в результате которой из 256 уровней в итоге остаётся меньшее число уровней, но нужно при этом помнить, что сама таблица имеет 16 битную разрядность, а остаточные данные после округления зависят от интерфейса видеоадаптера и кабеля. Тем не менее, коэффициент контрастности системы отображения регулируется только по LUT VA. Сегодня многие современные видеоадаптеры обладают LUT с точностью коррекции цвета 16bit и далее на уровне интерфейса. - Передача данных по интерфейсу уже может быть 10*, 12, 16bit-ной:

- Display Port* начиная с версии 2.0-2.1a, а уже для версий 1.3 (2014) и 1.4 (2016) реализована поддержка цв. пространств DCI-P3 и MCЭ-R BT.2020,
- заявлено в HDMI 1.3 и выше и окончательно реализовано в HDMI 2.1 - поддерживает цветовые пространства MCЭ-R BT.2020 с 10, 12 и 16 битной цветовой разрядностью.

Нужно помнить, что для реализации режима обработки сигнала большей разрядности необходимо использовать ещё и соответствующий интерфейс сопряжения между монитором и видеоадаптером, а сам монитор должен уметь отображать 8+A-FRC/FRC bpc или 10bpc (bit на канал цветности) на уровне матрицы дисплея, а не только внутренних LUT OSM (обычно 10, 12, 14 bit)! Стоит отметить, что "честные" 10 битные матрицы у LG это OLED (WRGB) и 9 серия IPS, IPS 7-8 серии это 8bit + A-FRC.

3. Интерфейсы и видеостандарты.

3.1. Интерфейс видео-пары.

Виды DVI¹ для мониторов и проекторов:

DVI-A — только аналоговая передача. (Видеокарты с DVI-A не поддерживают стандартные мониторы с DVI-D). 8bpc

DVI-I — аналоговая и цифровая передача. 8bpc

DVI-D — только цифровая передача. 8bpc

¹ **Digital Visual Interface**, сокр. **DVI** (англ. цифровой видеоинтерфейс) — стандарт на интерфейс и соответствующий разъём, предназначенный для передачи видеоизображения на цифровые устройства отображения, такие как жидкокристаллические мониторы и проекторы. Интерфейс и стандарт разработан консорциумом Digital Display Working Group. Single link DVI состоит из четырёх витых пар (красный, зелёный, синий, и clock), обеспечивающих возможность передавать 24 бита на пиксель. С ним может быть достигнуто максимальное возможное разрешение 2,6 мегапиксела при 60 Гц. Максимальная длина кабеля не указана в спецификации DVI, потому что она зависит от количества передаваемой информации. Кабель длиной 4,5 метра можно использовать для передачи изображения с разрешением до 1920x1200 точек. По кабелю длиной 15 метров получится передать в нормальном качестве изображение с разрешением 1280x1024 точек. Для усиления сигнала при передаче по кабелю большой длины применяются специальные устройства. При их использовании длина кабеля может быть увеличена до 61 метра (в случае использования усилителя с собственным источником питания).

- При использовании кабеля и соединения D-SUB — DVI-A — аналоговый режим (8bit);
- при использовании кабеля и соединения DVI-I — DVI-I — цифровой режим (8bit) — зависит от того, какой выбран режим, аналоговый или цифровой (при выборе цифрового режима, требуется перезагрузка системы);
- при использовании кабеля и соединения DVI-D — DVI-D — цифровой режим (8÷10bit), а если использовать Dual link DVI-D (10, 16bit (8x2) в зависимости от реализации в конечном устройстве отображения);
- при использовании соединения через интерфейс HDMI (Защита информации HDCP) — (10÷16bit), при этом сигналы с чересстрочной развёрткой (480i, 576i, 1080i) не будут поддерживаться.

Цифровая передача

- Минимальная тактовая частота: 21,76 МГц.
- Максимальная тактовая частота в одинарном режиме: 165 МГц.
- Максимальная тактовая частота в двойном режиме: Ограничивается только кабелем.
- Передаётся пикселей за такт: 1 (одинарный режим) или 2 (двойной).
- Битов в пикселе: 24.
- Примеры режимов (single link):
 - HDTV (1920×1080) частота 60 Гц с 5% LCD blanking (131 МГц).
 - WUXGA (1920×1200) частота 60 Гц (154 МГц).
 - UXGA (1600×1200) частота 60 Гц with GTF blanking (161 МГц).
 - SXGA (1280×1024) частота 85 Гц with GTF blanking (159 МГц).
- Примеры режимов (dual link):
 - QXGA (2048×1536) частота 75 Гц with GTF blanking (2×170 МГц).
 - HDTV (1920×1080) частота 85 Гц with GTF blanking (2×126 МГц).
 - 2560×1600px (на 30-дюймовом ЖК-дисплее).
 - WUXGA (1920×1200) частота 120 Гц (2×154 МГц).

«5% LCD blanking» означает, что 5% пропускной способности идет на интервалы гашения после каждой строки и каждого кадра. GTF (англ. Generalized Timing Formula) — стандарт VESA.

Аналоговая передача

Пропускная способность RGB-сигнала: 400 МГц (–3 dB)

Типовые проблемы, связанные с кабелями:

Одной из самых распространённых проблем является появление разбросанных и мерцающих красных (хотя возможны и другие цвета) точек на изображении на высоких разрешениях. Это может происходить по следующим причинам:

- недостаточный контакт в разъёмах кабеля;
- нехватка скорости передачи по кабелю;
- плохая помехозащищённость кабеля.

Способы устранения:

- улучшить фиксацию кабеля в гнездах путём закрутки винтов на вилках;
- заменить кабель на DVI Dual link, тем самым увеличив скорость передачи;
- заменить на более помехозащищённый кабель, однако надо помнить, что скорости кабеля Single Link на высоких разрешениях может не хватить.

А также альтернативные способы устранения:

- понизить частоту обновления в драйвере видеоадаптера;
- переключить режим работы DVI (например, как в драйверах видеокарт ATI Catalyst).

High-Definition Multimedia Interface (HDMI) — мультимедийный интерфейс высокой чёткости, позволяющий передавать цифровые видеоданные высокого разрешения и многоканальные цифровые аудио сигналы с защитой от копирования (HDCP). 8/10/12*/16* бpc (*начиная с v.1.3)

Разъём HDMI обеспечивает цифровое DVI-соединение нескольких устройств с помощью соответствующих кабелей. Основное различие между HDMI и DVI состоит в том, что разъём HDMI меньше по размеру, интерфейс оснащён технологией защиты от копирования HDCP (High Bandwidth Digital Copy Protection), а также поддерживает передачу многоканальных цифровых аудиосигналов. Является современной (на 2009 год) заменой аналоговых стандартов подключения, таких как SCART или RCA.

Основными разработчиками и производителями решений с поддержкой HDMI являются компании Intel, AMD, nVidia, ATI, Panasonic, Analog Devices, Texas Instruments, Broadcom, Silicon Image, STMicroelectronics, NXP Semiconductors, Analogix Semiconductor, Gennum, MStar Semiconductor, Parade Technologies, RedMere Technology, TranSwitch и Zoran.

Характеристики **HDMI**:

- HDMI имеет пропускную способность в пределах от 4,9 до 10,2 Гбит/с.
- длина кабеля — для бытовых условий до 5 метров, также возможно увеличение длины до 20-35 метров и более с применением как внешних усилителей-повторителей, так и вмонтированных сразу в кабель. Некоторые производители устанавливают ферритовые кольца в начале и в конце кабеля для защиты от помех. Особое внимание нужно уделить тому, что усилители (репитеры, эквалайзеры) стоит ставить не на выходе источника сигнала, а именно на входе у панели или телевизора.
- поддерживает управляющие протоколы CEC и европейский AV.link.

DisplayPort (DP) - это интерфейс цифрового дисплея, разработанный консорциумом производителей ПК и микросхем и стандартизированный Ассоциацией стандартов видеоэлектроники (VESA). Интерфейс в основном используется для подключения видеоисточника к устройству отображения, такому как монитор компьютера, и он также может передавать аудио, USB и другие виды данных.

DisplayPort был разработан для замены VGA, DVI и FPD-link. Интерфейс обратно совместим с другими интерфейсами, такими как HDMI и DVI, благодаря использованию активных или пассивных адаптеров.

DisplayPort является первым интерфейсом дисплея, в котором используется пакетная передача данных, форма цифровой связи, используемая в таких технологиях, как Ethernet, USB и PCI. Он допускает использование внутренних и внешних подключений дисплея и, в отличие от традиционных стандартов, которые передают тактовый сигнал с каждого выхода, протокол DisplayPort основан на небольших пакетных данных, *известных как микропакеты*, которые могут встраивать тактовый сигнал в поток данных. Это позволяет получить более высокое разрешение, используя меньше контактов. Использование пакетов данных также делает DisplayPort расширяемым, что означает, что со временем могут быть добавлены дополнительные функции без существенных изменений физического интерфейса. Путь видеосигнала может варьироваться от 6 до 16 бpc.

Общая полоса пропускания (количество двоичных цифр, передаваемых в секунду) равна полосе пропускания на полосе наивысшего поддерживаемого режима передачи, умноженной на количество полос. В то время как общая полоса пропускания представляет количество физических битов, передаваемых через интерфейс, не все биты представляют видеоданные. Некоторые из переданных

битов используются для целей кодирования, поэтому скорость, с которой видеоданные могут передаваться через интерфейс DisplayPort, составляет только часть общей полосы пропускания.

Схема кодирования 8b/10b (не путайте с разрядностью каналов цветности, от 6 до 16 бpc) использует 10 бит полосы пропускания для отправки 8 бит данных, поэтому для пропускной способности данных доступно только 80% полосы пропускания. Дополнительные 2 бита используются для балансировки постоянного тока (обеспечивая примерно равное число 1 и 0). Они потребляют пропускную способность, но не представляют никаких данных.

В DisplayPort 1.0–1.1a изображения RGB просто отправляются без какой-либо конкретной колориметрической информации.

Режимы передачи DisplayPort следующие:

- **RBR** (пониженная скорость передачи): полоса пропускания 1,62 Гбит/с на полосу (скорость передачи символов 162 МГц); Кабель RBR DisplayPort - 6,48 Гбит/с
- **HBR** (высокая скорость передачи в битах): полоса пропускания 2,70 Гбит/с на полосу (скорость передачи в линии связи 270 МГц); Стандартный кабель DisplayPort - 10,80 Гбит/с
- **HBR2** (высокая скорость передачи 2): полоса пропускания 5,40 Гбит/с на полосу (скорость передачи символов 540 МГц), представленная в DP 1.2; Стандартный кабель DisplayPort - 21,60 Гбит / с (*В апреле 2013 года VESA опубликовала статью о том, что сертификация кабелей DisplayPort не имеет четких уровней для полосы пропускания HBR и HBR2, и что любой сертифицированный стандартный кабель DisplayPort, в том числе сертифицированный по DisplayPort 1.1, сможет обрабатывать 21,6 Гбит/с.*)
- **HBR3** (высокая скорость передачи 3): полоса пропускания 8,10 Гбит / с на полосу (скорость передачи символов 810 МГц), представленная в DP 1.3; DP8K кабель - 32,40 Гбит/с

Скорость несжатых данных для видео RGB в битах в секунду рассчитывается как **биты на пиксель × пикселей на кадр × кадров в секунду**. Пиксели на кадр включают в себя интервалы гашения, определенные CVT-R2 (*standard Coordinated Video Timings VESA*).

DisplayPort имеет ряд преимуществ перед **VGA**, **DVI** и **FPD-Link**.

- Открытый стандарт, доступный для всех членов VESA
- Меньшее число дорожек со встроенными автоспуском, сниженный уровень электронных помех со скремблированием данных и режим расширенного спектра
- Реализован на основе протокола микропакетов
 - Позволяет легко расширить стандарт с несколькими типами данных
 - Гибкое распределение доступной полосы пропускания между аудио и видео
 - Несколько видеопотоков по одному физическому соединению (версия 1.2)
 - Передача на большие расстояния по альтернативным физическим средам, таким как оптоволокно (версия 1.1a)
- Дисплеи высокого разрешения и несколько дисплеев с одним соединением через концентратор или гирляндную цепь
 - Режим HBR2 с эффективной полосой пропускания 17,28 Гбит/с позволяет использовать одновременно четыре дисплея 1080p60 (время CEA-861), два 2560 × 1600 × 30 бит при 120 Гц (время CVT-R) или 4K UHD при 60 Гц
 - Режим HBR3 с эффективной полосой пропускания видео 25,92 Гбит / с с использованием синхронизации CVT-R2 позволяет использовать восемь одновременных дисплеев 1080p (1920 × 1080) при 60 Гц, стереоскопический 4K UHD (3840 × 2160) при 120 Гц или 5120 × 2880 при 60 Гц каждый использует 24-битный RGB, и до 8K UHD (7680 × 4320) при 60 Гц, используя субдискретизацию (4 : 2 : 0)
- Предназначен для внутренней коммуникации между чипами

- Предназначен для замены внутренних ссылок FPD-Link на панели отображения унифицированным интерфейсом ссылок
- Совместим с низковольтной сигнализацией, используемой при изготовлении субмикронных КМОП
- Может управлять панелями дисплея напрямую, устраняя необходимость масштабирования и управления цепями и позволяя создавать более дешевые и тонкие дисплеи
- Обучение линии связи с регулируемой амплитудой и предварительным упором адаптируется к разным длинам кабеля и качеству сигнала
 - Сниженная полоса пропускания для кабеля длиной 15 метров (49 футов), не менее 1920 × 1080p при 60 Гц при 24 битах на пиксель
 - Полная пропускная способность на 3 метра (9,8 фута)
- Высокоскоростной вспомогательный канал для трафика DDC, EDID, MCCS, DPMS, HDCP, идентификации адаптера и т. п.
 - Может использоваться для передачи двунаправленного USB, данных сенсорной панели, СЕС и т. д.
- Самоблокирующийся разъем

Dual-Mode DisplayPort (DP ++), также называемый **Dual-Mode DisplayPort**, является стандартом, который позволяет источникам DisplayPort использовать простые пассивные адаптеры для подключения к дисплеям HDMI или DVI. Двойной режим является дополнительной функцией, поэтому не все источники DisplayPort обязательно поддерживают пассивные адаптеры DVI / HDMI, хотя на практике практически все устройства поддерживают. *Официально логотип DP ++ должен использоваться для обозначения порта DP, который поддерживает двухрежимный режим, но большинство современных устройств не используют логотип.*

Сопутствующие стандарты: **Mini DisplayPort** (анонсирован Apple); **Micro DisplayPort** для портативных устройств; **Стандарт Direct Drive Monitor (DDM)** позволяет использовать мониторы без контроллера, в которых панель дисплея напрямую управляется сигналом DisplayPort, хотя доступные разрешения и глубина цвета ограничены двухполосной операцией; **Сжатие потока отображения (DSC)**; Стандарт **Embedded DisplayPort (eDP)** - призван определить стандартизированный интерфейс панели дисплея для внутренних подключений, например, видеокарты на панели дисплея ноутбука; **Внутренний DisplayPort (iDP)**; **Портативный цифровой медиаинтерфейс (PDMI)**; **Wireless DisplayPort (wDP)** обеспечивает полосу пропускания DisplayPort 1.2 и набор функций для беспроводных приложений; **DisplayID** предназначенный для замены стандарта **E-EDID**; **SlimPort** (бренд продуктов Analogix); **DockPort**, ранее известный как **Lightning Bolt**; **USB-C**.

Более подробно с видами стандартов для видео интерфейсов, их отличительными функциями читайте отдельно. Наша задача была ознакомить с основными видами интерфейсов и тем, на что они в свою очередь влияют, что может оказать своё значение и на процесс калибровки видеосистемы в целом.

3.2. Видеостандарты телевидения.

Для передачи первичного кинематографического изображения, отснятого на плёнку, в эфир телевидения, были разработаны стандарты телевизионного вещания. Изначально они рассматривали метод кодирования (стандарты разложения – чересстрочная и построчная развёртка) и передачи изображения и звука, а с приходом цветного телевидения они начали рассматривать параметры, влияющие на отображение цвета и его кодирование при передаче данных (NTSC, PAL, SECAM). Число самих стандартов возросло. С появлением цифровых технологий стандарты начинают учитывать целый комплекс параметров, влияющих на метод передачи изображения и звука.

Рассматриваются и методы компрессии передаваемых сигналов с учётом размеров изображения, внедряются новые стандарты цифрового телевидения высокой чёткости (переход от SDTV к HDTV).

Стандарт разложения — характеристика стандарта телевизионного вещания и видеозаписи, определяющая количество строк изображения, частоту смены кадров (полей), а также режим развёртки. Основные кардинально противоположные стандарты разложения это:

- Европейские стандарты PAL/SECAM. Передача 625строк в двух полукадрах (полях) с частотой следования 50Hz (полукадровая частота – 50 полукадров в секунду), близкой к частоте электрического тока в промышленных электросетях и при этом большей, чем физиологический порог заметности мерцания кинескопа в 48Hz. Для стандарта SECAM-D характерно, что из 625 передаваемых строк активных только 576, поэтому и размер кадра 720X576px (480i в американском стандарте).
- Американский NTSC, передача 525строк полных кадров с частотой смены полукадров 60Hz (60 полукадров в секунду). Кадровая частота - термин кинематографический (количество кадров в секунду), для удобства приняли 24 (в немом кинематографе было 16), от того для пересчёта в NTSC требовался разгон просмотра и чтобы уйти от характерного дрожания, при оцифровке использовали технологии интерполяции кадровой частоты.

Частота кадров на телевидении (25 или 30 кадров в секунду) отличается от частоты кадров в кинематографии (24 кадра в секунду), это создаёт определённые неудобства при конвертировании из формата в формат и оцифровке киноплёнок. В Европе на телевидении фильмы прокручивают чуть быстрее (на 4 %; соответственно и звук становится более высоким); в Америке поступают иначе: там один кинокадр показывают в течение 3 полукадров, а другой в течение 2 полукадров — в итоге на 4 кинокадра приходится 5 телевизионных кадров.

Оба стандарта обеспечивают примерно одинаковую ширину полосы видеосигнала за счет близких частот строчной развертки: 15625 Hz (PAL) и 15750 Hz (NTSC). Кроме количества строк и полей, стандарт разложения предусматривает также количество и форму синхроимпульсов и гасящих импульсов, которые передаются вместе с видеосигналом. В эпоху современных цифровых технологий вещательные стандарты и форма видеосигнала сохраняются прежними, чтобы обеспечить возможность приема телевизионного изображения телевизорами, использующими электронно-лучевые трубки.

Новые стандарты разложения, принятые в телевидении высокой четкости HDTV, предусматривают только цифровую передачу изображения и избавлены от необходимости передачи избыточной информации. Два основных стандарта HDTV содержат 720 и 1080 строк при полукадровой частоте 50 Hz и 60 Hz. Кроме того, существуют варианты с чересстрочной «i» и прогрессивной «p» (построчной) разверткой.

Для обозначения цифрового стандарта разложения используют количество строк, вид развёртки («i» или «p») и, через косую линию (реже), частоту кадров (23.98, 24, 25, 29.97, 30, 50, 59.94, 60) Hz. Как дополнительная информация по типу применения (LDTV, SDTV, EDTV, HDTV, UHDTV), пишется пропорция соотношение сторон кадра W:H (4X3, 16X9) и пикселя W:H (для матриц разного формата может быть от 1:1, 1.33:1 до 1.5:1), а также формат кадра в pxl.

- Телевидение пониженной четкости (LDTV):
 - 240p (320×240 px)
 - 288p (352×288 px)
- Телевидение стандартной четкости (SDTV):
 - 480i (аналоговый стандарт NTSC имеет 486 строк с чересстрочной разверткой (2 поля по 243 строки))
 - 576i (PAL, 720×576 px, чересстрочная развёртка (2 поля по 288 строк))
- Телевидение повышенной чёткости (EDTV):

- 480p (720×480 px)
- 576p (720×576 px)
- 720p (1280×720 px)
- Телевидение высокой чёткости (HDTV):
 - 1080i (1920×1080 px, чересстрочная развёртка (2 поля по 540 строк))
 - 1080p (1920×1080 px)
- Телевидение сверхвысокой чёткости (UHDTV)
 - 4320p (7680×4320 px)

SDTV - (от англ. *Standard-definition television*, в эпоху цифрового телевидения расшифровывается как *Standard Digital Television*). – *Телевидение стандартной чёткости*.

SDTV - Цифровой вещательный стандарт, основанный на наиболее распространенных стандартах разложения 625/50 (576i) и 525/60 (480i). Параметры системы выбраны для оптимального просмотра изображения с расстояния наблюдения, равного шести высотам экрана. Телевидение стандартной чёткости относится к цифровой передаче видео с разрешением 480 (NTSC) или 576 (PAL) строк с чересстрочной или прогрессивной развёртками. SDTV основано на формате 4:3, близком к «классическому» формату кино. Благодаря компактности используется для записи видео DVD.

EDTV - (от англ. *Enhanced-Definition Television*). – *Телевидение повышенной чёткости*.

EDTV - стандарт телевизионного вещания повышенного качества, основанный на современных стандартах разложения изображения, обеспечивающих бóльшую разрешающую способность по сравнению с телевидением стандартной четкости, но несколько уступающих по разрешению стандартам телевидения высокой чёткости.

EDTV - Цифровое телевидение повышенной чёткости подразумевает передачу сигналов с построчным разложением, числом активных строк в кадре 720 и числом элементов в строке 1280, то есть соответствует стандарту разложения **720p**. Параметры системы выбраны для оптимального просмотра изображения с расстояния наблюдения, равного четырем высотам экрана. Предполагается воспроизведение изображения повышенной чёткости в формате кадра 16:9. Возможна передача цифрового сигнала с унифицированным форматом отображения 15:9 с разрешением 1280×768 с дополнительным полем для отображения текстовой информации внизу экрана (1280×48) или полного отображения изображения с форматом кадра 4:3 и разрешением 1024×768. Для обозначения цифровых стандартов разложения используют обозначения **576p** (PAL) и **480p** (NTSC) с применением прогрессивной развёртки. В стандартах EDTV, принятых CEA, частота смены кадров равна 25 или 30 герц для 576p и 480p соответственно. Специально для записи фильмов на DVD без преобразования частоты кадров поддерживается и формат 24p. Стандарт 480p с форматом кадра 16:9 имеет разрешение 852 × 480. Такое разрешение используется в плазменных телевизорах. Реальный видеосигнал растягивается из размеров 720×480 за счет использования неквадратных пикселей. При соотношении сторон 4:3 число отображаемых элементов равно 640×480.

HDTV - (от англ. *High-Definition Television*). – *Телевидение в высоком разрешении*.

HDTV - Набор стандартов цифрового телевизионного вещания высокого качества, основанные на современных стандартах разложения изображения, значительно превышающих по разрешающей способности телевидение стандарта **SDTV**. В **HDTV** используются новейшие цифровые стандарты кодирования цвета и звука, для передачи которых используются исключительно цифровые технологии, основанные на сжатии потока видео- и звуковых данных. Передача сигнала **HDTV** на короткие расстояния (от приёмника пользователя к дисплею) осуществляется в несжатом виде через цифровые интерфейсы (кабели) HDMI и DVI-D. Использование цифровых интерфейсов позволяет полностью избавиться от цифро-аналоговых преобразований на всём пути прохождения сигнала. Однако допускается подключение и по компонентным аналоговым интерфейсам (RGBHV и YPbPr). Используется для записи видео в форматах HD DVD и Blu-Ray.

UHDV - (от англ. *Ultra High Definition Television*). – Телевидение сверхвысокой чёткости или Ultra HDTV, 4320p, и Ultra High Definition Video (UHDV)) является экспериментальным видеоформатом, на данный момент поддерживаемым телекомпаниями NHK (Япония), BBC и RAI. Находится в разработке. Час несжатого видео в формате UHDV будет занимать около 200 Tbit, однако, используя алгоритмы сжатия, можно уменьшить размер до 300 Gbit.

UHDV - Основные спецификации телевидения сверхвысокой чёткости:

- **Разрешение:** 7680 × 4320 пикселей (16:9) (около 33 мегапикселей)
- **Глубина цвета:** 10 бит на канал (* - в более позднем стандарте 12 и 14 бит)
- **Описание цвета:** Rec. 709 (* - в более позднем стандарте Rec.2020, DCI-P3, ACES)
- **Частота кадров:** 60 кадров/с. (для прогрессивной развертки)
- **Звук:** 22.2 канальный
 - 9 — на уровне выше ушей (верхний уровень)
 - 10 — на уровне ушей (средний уровень)
 - 3 — на уровне ниже ушей (нижний уровень)
 - 2 — НЧ эффекты
- **Частотный диапазон:** 21 ГГц
- **Полоса пропускания:** 600 МГц, 500~6600 Мбит/с (* - см. новые стандарты)

Предполагается, что UHDV-изображение будет проецироваться на экран с диагональю до 11,4 м (450 дюймов). По данным Engadget, стандарт подразумевает использование звука в формате 22.2. Основным разработчиком нового видео формата является японская государственная телекомпания NHK. Определяющей целью работы над стандартом является достижение полного сенсорного погружения в происходящее на экране. Технология UHDV уже сегодня позволяет достигнуть 100 градусов угла обзора.

Электронно-оптическая стандартная функция передачи светлоты (EOFT).

Ранее в телевидении использовалась простая гамма-функция $f(Y)=f(x)^{1/\Gamma}$, описание которой можно найти в аппаратно-независимых цв. моделях, обычно это была ($\Gamma=2.2$; 1.8 и подобные), а для устройств отображения согласуемая с ней гамма-функция $f(Y)=f(x)^\Gamma$, где значение яркости на экране дисплея имело ($\Gamma=2.5$ и близкие к ней или иные, см. историю вопроса), сейчас большинство мониторов с узким динамич. диапазоном откалиброваны на заводе на $\Gamma=2.2$, а телевизоры на 2.5 или 2.2. Суммарно сложение отображаемой яркости на дисплее с учётом его гамма-функции и предварительной гамма-коррекции первичных данных должны были давать гамму равную единице или близкому значению, где единица в этой формуле, это эквивалент равномерности яркости Y в нашем восприятии. С учётом, изменившейся технологии устройств отображения и появлению возможности отображать сцену в более широком динамическом диапазоне изменились требования и формулы при преобразовании яркости, которые были описаны первично (для HDTV) в Rec.709 (простая электронно-оптическая функция отображения яркости дисплея – EOOF), в Rec.2020 изменилось только количество знаков за запятой для ряда коэффициентов в связи с возросшей в стандарте битовой глубиной, Rec.1886 (стандартная функция EOSF, зависящая от изменяющейся яркости и контраста устройства отображения и связанная с новой реализацией яркости и контраста в мониторах на уровне OSM / OSD), Rec.2100 (HDR EOSF учитывающая более широкий динамический диапазон и сопоставимая с восприятием светлоты человеком). Для устройств отображения используемых в медицине используется стандарт DICOM и описанная в нём CSFT / GSFT – трансферная функция отображения светлоты для цветных и черно-белых дисплеев. Более простая гамма-функция яркости ($\Gamma=2.6$) осталась только в цветовом пространстве DCI-P3, где в том числе иногда используют гамма-функцию sRGB или Rec.1886, что зависит от устройства отображения и его настроек на уровне OSM / OSD.

3.2. Стандарты отображения цвета.

Для телевидения были разработаны стандарты и рекомендации, а также стандартные цветовые пространства для работы над цветами в процессе цифрового кинопроизводства.

Рекомендации BT.601 и BT.709

Стандарт BT.601 был создан в 1987 году на 525 строк (NTSC) и 625 линий PAL/SECAM.
ITU-R BT.601-7 (Rec. 601) — Международный стандарт для SDTV

Стандарт BT.709 В 1990 году, был введен стандарт телевидения высокой четкости (HDTV) со спецификациями для 1125, и 1250 строк. В 2000 году, BT.709-4 добавили строку в 1080 линий, для соответствия стандарту цифрового телевидения.
ITU-R BT.709-5 (Rec. 709) — Международный стандарт для HDTV

Два основных различия между стандартами Rec. 601 и Rec. 709:

[A] – коэффициенты яркостной составляющей (Luma Coefficients)

Rec. 601 $Y' = 0.299 R' + 0.587 G' + 0.114 B'$

Rec. 709 $Y' = 0.2126 R' + 0.7152 G' + 0.0722 B'$

[B] – гамма-функции EOFT согласно HDTV (Rec. 709)

// In := if $L < 0.018$ then $V = 4.5 * L$ else $V = 1.099 * L^{(0.45)} - 0.099$

// Out := if $V < 0.081$ then $L = V / 4.5$ else $L = (V + 0.099) / 1.099^{(1/0.45)}$

гамма коррекция согласно SDTV (Rec. 601)

// In := $y = x^{(1/2,1992)}$

// Out := $y = x^{2,1992}$

[C] – основные, базовые цвета (Primaries) — см. *текстовые файлы профилей*.

ITU-R BT.601 ITU-R — стандарт для компонент цифрового видео (YCbCr). Он был разработан для предоставления общего цифрового стандарта, который нужен для взаимодействия трех аналоговых видеосистем телевидения (NTSC, PAL и SECAM). MCЭ-R BT.601 позволяет преобразовывать аналоговые сигналы в цифровые, а затем легко конвертировать обратно в любой из трех систем телевидения. Частота дискретизации яркости (Luma) 13.5 MHz и цветности (Chroma) 6.75 MHz (4:2:2). - Такой выбор даёт 720 образцов активных данных в каждой строке для NTSC и PAL/SECAM. Обозначение 4:2:2 означает отношение числа компонентов яркостного канала к числу компонентов каналов цветности; каждым четырем яркостным компонентам соответствуют два компонента цветовых каналов. Цифровой формат видеозаписи DI соответствует ITU 601.

CCIR 601 (Rec. 601) — международный стандарт (переименованный в ITU 601) для компонентов цифрового телевидения, выведенный из стандартов SMPTE RP1 25 и EBU 3246E. ITU 601 определяет системы дискретизации, матричные значения и характеристики фильтров для Y, Cr, Cb и RGB компонентов цифрового телевидения. Он устанавливает схему дискретизации 4:2:2 на частоте 13.5 МГц для канала сигнала яркости и 6.75 МГц для каналов цветности с 8-битной оцифровкой каждого канала. Выбраны именно такие частоты дискретизации, так как они работают как для компонентов видеосистем 525-строк, 60 Гц, так и 625-строк, 50 Гц.

Рекомендации BT.1886 и BT.2020

Стандарт BT.1886 был создан в дополнение к рекомендациям описанным в стандарте **ITU-R BT.709 (Rec. 709)** — Международный стандарт для HDTV. В нём описана новая гамма-функция EOFT, при этом для устройств ввода информации функция EOFT осталась идентичной, как в **BT.709 (Rec. 709)**. Гамма коррекция согласно Rec.1886 (R-ITU-BT.1886 GSDF):

// In := $(255 * (\text{Count}/255)^{(1/\text{Gamma}})) * 257$, // Рассматривается только мониторная обратная кривая для EOFT, для случая *.

// Out := $(a * (\text{MAK}((N_Count/255) + b; 0))^{(2.4)} * 255$, где $a = (L_wp^{(1/2.4)} - L_bp^{(1/2.4)})^{2.4}$,
 $b = L_bp^{(1/2.4)} / (L_wp^{(1/2.4)} - L_b^{(1/2.4)})$

// * - См. полную спецификацию <https://www.itu.int/rec/R-REC-BT.1886-0-201103-I/en>

Стандарт BT.2020. – Его появление было связано с разработкой новых люминофоров, способных отображать цвет с более широкой гаммой, и с появлением плоскпанельных дисплеев способных отображать цвет с большей битовой глубиной. **ITU-R BT.2020 (UHDTV)** предусматривает доставку контента пользователям с разрешением 4K(3840 × 2160), так и с разрешением 8K(7680 × 4320), при просмотре на экранах телевизоров от 1,5м по диагонали, при этом дисплеи узкопанельных мониторов могут иметь и намного меньшую диагональ, что связано с физическим размером пиксела конкретной матрицы. Частота кадров, Гц (120; 120/1,001; 100; 60; 60/1,001; 50; 30; 30/1,001; 25; 24; 24/1,001) при прогрессивной развёртке.

Описание гамма-функции EOFT при этом в нём сохранилось от прежних двух стандартов **BT.709 (Rec. 709)** и **BT.1886 (Rec. 1886)**. Но при 10ти и 12 битном кодировании есть и новая функция $f(E') = \text{if } 0 \leq E' \leq \beta \text{ then } 4.5 * E', \text{ else } \alpha * E'^{0.45}, \text{ if } \beta \leq E' \leq 1$ Система уравнений обеспечивает необходимое условие для бесперебойного соединения двух отрезков кривой яркости и приводит к значениям $\alpha = 1,09929682680944...$ и $\beta = 0,018053968510807....$ По практическим соображениям могут использоваться следующие значения:

$\alpha = 1,099$ и $\beta = 0,018$ для 10-битовых систем

$\alpha = 1,0993$ и $\beta = 0,0181$ для 12-битовых систем

Соответственно гамма-функции EOFT согласно UHDTV (Rec. 2020)

// In := if $y < 0.0181$ then $L = 4.5 * y$ else $L = 1.0993 * y^{1/2.22222} - 0.0991$

// Out := if $y < 0.0813$ then $L = y/4.5$ else $L = ((y + 0.0991)/1.0993)^{1/0.45}$

Коэффициенты яркостной $Y' = KR \cdot R' + (1 - KR - KB) \cdot G' + KB \cdot B'$ составляющей (Luma Coefficients) для... :

Rec. 2020 $Y'c$ и $Y' = 0.2627 R' + 0.6780 G' + 0.0593 B'$

3.3. Управление цветом и стандартизированные цветовые пространства.

Цветовая модель — термин, обозначающий абстрактную модель описания представления цветов в виде кортежей чисел (последовательность конечного числа элементов), минимально из трёх или четырёх значений, называемых цветовыми компонентами или цветовыми координатами. Вместе с методом интерпретации этих данных (например, определение условий воспроизведения и/или просмотра — то есть задание способа реализации), множество цветов цветовой модели определяет цветовое пространство.

Цветовые модели различаются по их предназначению. Для цифрового телевидения используется аддитивная цветовая модель RGB – для просмотра изображения на мониторе, плазменном телевизоре, видеопроекторе и т.д.. Цветовая стандартизированная модель sRGB (IEC 61966-2.1), разновидность модели RGB, широко используется в компьютерной индустрии (на ней основаны широко распространённые форматы изображений JPEG и класс форматов видео MPEG), по умолчанию это пространство является стандартным для воспроизведения цвета браузерами, но ряд современных браузеров имеющих качественный встроенный CMM (Модуль Управления Цветовоспроизведением), способны правильно отображать цвета различных графических файлов с встроенными профилями.

Существуют математические модели, полезные для каких-либо способов цветокоррекции, но не связанные с оборудованием, например HSV, HS(L/B/P) – в этих цветовых моделях информация о цвете, насыщенности и светлоте содержится в отдельных каналах и они напрямую пересчитаны из цветовой модели RGB и обратно преобразуемы по формулам после редактирования цвета, но при этом не являются колориметрически точными, работа с ними предназначена для визуального контроля происходящего с цветом и светом. Или более экзотические цветовые модели, при этом удобные по своему представлению цвета для определённых инструментальных средств редактирования цвета, как Lxy, MXY, SXY, Yxy, Yab и подобные, где xy и ab это варианты координатной проекции точек цветового пространства RGB на плоскость, при котором удобно редактировать сегмент такого массива относительно того или иного сечения такой координатной плоскости и

отдельно редактировать представления светлоты/яркости по перпендикулярной оси к этой плоскости, эти цветовые модели родились в математической статистике и удобны для определённых инструментов и способов редактирования, но не являются колориметрически точными по визуально сопоставимому расстоянию/ощущению градаций цвета (DE) между цветами в нашем восприятии, а значит и в колориметрически более точных изначально цв. моделях LMS или XYZ, полученных при изучения нашего зрительного восприятия изначально, и производных от них цветоразностных цветовых моделей (LUV, LAB, LCH(ab), LCH(uv), xyz, xyY).

Цветовые модели XYZ (а в других системах координат xyY, Lab, LUV) описывают восприятие цвета человеком. Мастер-модель XYZ основана на замерах характеристик человеческого глаза (так называемого "Стандартного Колориметрического Наблюдателя"). XYZ — исторически первая выведенная цветовая модель, в которой любой цвет, ощущаемый человеком, представлен только положительными значениями координат. Из модели XYZ путем соответствующих математических преобразований выводятся все другие модели. Цветовые модели Lab и Luv появились в попытке перераспределить расстояние между цветами в цв. модели XYZ так, чтобы разрешить вопрос равномерности шкалирования относительно равномерности зрительного восприятия, эти модели уже цветоразностные, а цв. модель LCH уже производная от каждой из них, от того в скобках последней обычно пишут привязку. Координаты цв. модели Lab привязаны к цв. температуре, от того при преобразовании из XYZ, где по умолчанию она всегда пересчитана к D50, для Lab она предварительно может быть пересчитана к D55, D65 или и вовсе к абсолютному значению конкретного цветового пространства или сцены, когда это CIE Lab используемая в CMS/CMM, и её привязка идёт к опорному белому D50, то после L ставят * - L*ab, а CIE не пишут (опускают).

LMS — цветовая модель основанная на реакции трёх типов конусов на сетчатке нашего глаза и она максимально верно описывает представление цвета относительно нашего восприятия, например (CIE CAM 02), в ней учитываются адаптационные механизмы нашего зрения к изменяющимся условиям светлоты, контрастности и опорного белого цвета. Она учитывает среднюю освещённость сцены и светлоту перефигурного фона по отношению к основным элементам сцены, от того обладает рядом производных цветоразностных величин и их суммарно регулируемых пар, как по яркости так и по цветности.

Есть также цветоразностные цветовые модели привязанные к конкретным цветовым пространствам RGB и стандартам в киноиндустрии и тесно связанные с развитием самой технологии цветопроизведения и трансляции аналогового, а после цифрового сигнала, это YUV, YCbCr, YPbPr, YIQ — семейство цветовых пространств, которые используются для передачи цветных изображений в компонентном видео и цифровой фотографии при этом шкалирование и сжатие сигнала по оси светлоты и для двух цветоразностных каналов используется неодинаково. Эти модели основаны на принципе, согласно которому основную информацию несёт яркость изображения — составляющая Y (важно — Y в этих моделях вычисляется совершенно по-другому и согласуется коэффициентами с конкретными цв. моделями RGB, чем Y в модели XYZ), а две другие составляющие, отвечающие за цвет, менее важны. Поэтому разрядность осей может отличаться, что дополнительно связано с технологией сжатия сигнала при передаче в сети и при разном по битовой глубине передаваемом сигнале изначально (8-12bit на канал цветности, в более поздних стандартах киноиндустрии используется 14 и 16 разрядный цвет), от чего зависит и степень округления чисел и метод их интерполяции при шкалировании. Например, YPbPr это вариант YCbCr для аналоговой передачи сигнала. В телевидении для стандарта PAL применяется цветовая модель YUV, для SECAM — модель YDbDr, а для NTSC — модель YIQ.

Отдельно нужно отметить инструментальные цветовые модели LAB, LAB(n/m), LAB(1tten/Mansell), HSP 1tten, CMY, CMYK, RGBW не привязанные к конкретным цветовым пространствам, но ориентированные на их логику построения, и полученные более простыми матричными вычислениями и формулами из первичной цветовой модели RGB иногда с сжатием осей/части их шкалы, или разворотом тех или иных осей для цв. координат между собой для иного перераспределения цветов в цветовом круге, например как в цв. модели Иттена, они используются для инструментальных средств редактирования, что задействуют эти каналы цветности аналогично к

таким истинным моделям получаемым при правильном математическом вычислении и используются в опр. инструментах редактирования цвета контролируемого визуально, соподчиняя само редактирование цвета по аналогии с выбранной цв. моделью.

Цветовое пространство представляет собой модель представления цвета, основанную на использовании базовых цветовых координат. Цветовое пространство строится таким образом, чтобы любой цвет имел представление, как точка, имеющая определённые координаты, причём так, чтобы одному набору координат соответствовал один цвет. Цветовые пространства описываются набором цветовых координат и правилами построения цветов и их совместного сложения. А количество координат задаёт его размерность. В соответствии с чем цветовые пространства могут иметь разный цветовой охват от видимых нами цветов, даже если первично это цветовое пространство абстрактно – аппаратно независимо, как например AdobeRGB, AppleRGB, sRGB, но при этом такое цветовое пространство является стандартизированными для некоего рабочего процесса – используемы при редактировании и хранении информации о цвете, обмене данных в рамках системы, а с учётом конкретики координат из них цвет можно точно пересчитать в аппаратно-зависимые цветовые пространства RGB или в цветовые пространства CMYK описывающие кроме устройств и способа печати, также привязку к конкретным краскам и запечатываемому материалу, тоже относится и к аналогичным RGB цв. пространствам, напрямую зависящих от абсолютных координат красочного пигмента и параметров красковосприятия и цвета подложки, т.е. от спектрального суммарно состава цвета воспринимаемого наблюдателем или аппаратным средством (кино/фото-камерой, сканером), а также от спектральных параметров цвета люминофоров (в источниках света для кореллирования цв. температуры) в телевидении и пигментов используемых для окрашивания субпикселей плоскопанельных мониторов и цветофильтров проекторов. Для цветового пространства всегда существует привязка чему именно в абсолютной цв. модели CIE XYZ / L*a*b , будут соответствовать координаты основных цветов RGB, CMYK, Spot* Colors. От того преобразование между разными цветовыми пространствами всегда учитывает колориметрически верное сохранение цвета визуально, но выраженное в другом цветовом пространстве в иных конечных координатах такой цветовой модели, с учётом что в новом цв. пространстве иное описание координат базовых цветов. Из чего следует и обратное – идентичные значения шкалы двух разных цветовых пространств в рамках модели RGB тождественно не равны по значениям цвета в колориметрических абсолютных координатах XYZ/LMS, если сами RGB цв. модели разные и для нас будут восприниматься, как разные цвета.

Управление цветом — это контролируемое преобразование между разными моделями представления цвета различных устройств, таких как сканеры, цифровые видеокамеры, мониторы, экраны телевизоров, принтеры и т. д. Для управления цветом в системе используются файлы с описанием (справочные библиотеки данных) стандартизированных параметров для устройства или цветовой модели. Для обеспечения кроссплатформенности, используются ICC — совместимые системы управления цветом.

ICC — Международный Консорциум по Цвету (*International Color Consortium, ICC*)— это индустриальный консорциум, который создал открытый стандарт *Color Matching Module (CMM* — модуль цветового соответствия), действующий на уровне операционной системы, а так же цветовые профили ICC для устройств и *рабочих пространств (working spaces)* (цветовые пространства, доступные для работы пользователей). Помимо прочего существуют профили, встраиваемые в устройства. Все это обеспечивает полноценный процесс преобразования цвета от источника к приемнику.

Стандарты отображения цвета (или как их ещё называют, ICC-профили) первично возникли на телевидении и базировались на стандартах и рекомендациях, созданных для телевещания. Так появился стандарт описания цветового пространства (sRGB). Решая задачи, связанные со сканированием (оцифровкой) плёнок с учётом их расширенного цветового охвата и динамического диапазона тонов, компания Kodak разработала Kodak YCC Format хранения и отображения данных, а также новое цветовое стандартизированное пространство CIE

YCC, которое намного шире, чем RGB. Так, рабочее цветовое пространство Kodak Pro Photo RGB – это лишь 8-битное представление для цветовой модели RGB, описывающее ряд ICC профилей отображения цвета (мы их знаем, как стандартизированные Kodak Photo CD (YCC) профили).

Для стандартизации цветовых пространств, основанных на единой технологии или описании процесса, были созданы ряд аппаратно независимых цветовых пространств — sRGB, AdobeRGB, ProPhotoRGB, L-StarRGB и др., которые составили стандарты отображения цвета, и на целевые параметры которых калибруется видеосистема при работе с этими цветовыми моделями.

В управлении цветом *ICC-профилем* называют набор данных, характеризующий устройство цветного ввода или вывода или цветовое пространство согласно стандартам, провозглашенным Международным Консорциумом по Цвету (*ICC*). Профили описывают цветовые атрибуты некоторого устройства или требования к внешнему виду путём определения соответствий между пространством цветов, воспринимаемым или воспроизводимым устройством, и пространством связи профиля (*profile connection space, PCS*). Это PCS может быть LAB или XYZ. Соответствия могут определяться таблицами, к которым применяется интерполяция, или ряд параметров для преобразования.

Каждое устройство, получающее или показывающее цвета, может иметь свой профиль. Для того, чтобы различные устройства вывода вели себя предсказуемо, они должны быть откалиброваны в соответствии с заданными целевыми значениями или со стандартным цветовым пространством.

В комплекте к программе Calibrilla идут целевые настройки калибровки градиционных кривых тонопередачи в LUT видеоадаптера для наиболее распространённых форматов стандартных цветовых пространств. Выбраны цветовые стандарты и рекомендации, имеющие характерные различия для формул расчёта гаммы канала яркости и для выделения ахроматического канала яркости, относительно данных цветности.

Условно устройства отображения разделяют на устройства с стандартным цветовым охватом, близким к цв. охвату sRGB и покрывающий его, и устройства с расширенным цветовым охватом, которое тоже может отличаться, но обычно уже достигает полного или почти полного (92-100%) покрытия цветового пространства AdobeRGB. Референсные узкопанельные дисплеи для кинопроизводства, как и проекторы в кинотеатрах должны покрывать цветовые пространства Rec.2020, DCI-P3 и частично (85~100% ACES). Референсные мониторы для полиграфии и фотоиндустрии, которые используют для цветокоррекции или как аналоговую цветопробу, должны покрывать на 95-100% цветовое пространства Fogra39 или тот стандарт, в рамках которого используется такой монитор, обычно их выбирают из мониторов с расширенным цв. охватом, чтобы максимально захватить голубую краску при отображении на мониторе. Их динамический диапазон светлоты обычно намного ниже, чем у референсных мониторов для киноиндустрии и сопоставим по фотоконтрасту с контрастом белого листа гляцевых журналов к максимально запечатанной чёрной области, при рассмотрении в просмотровом устройстве, что идентично фотографическому контрасту 350~370, а для бумаг с меньшей белизной и меньшему фотоконтрасту, вплоть до 275. Соотношение фотографического контраста референсных мониторов для киноиндустрии может составлять от 600 до 5000, где переходным порогом для сложных гамма-функций считается 1000. Хотя сам стандарт просмотра предполагает, что конечный пользователь может просматривать контент и на более тусклых устройствах.

4. Методика визуальной калибровки.

Программная среда **Calibrilla** позволяет осуществлять как визуальную калибровку, так и смешанную программно-аппаратную калибровку при помощи инструментальных и программных средств стороннего производителя, во время которой Calibrilla выступает как дополнительное инструментальное и визуальное средство контроля, а также как автозагрузчик результатов калибровки в LUT VA. Работа с инструментами Calibrilla может начинаться на любом этапе — как при предварительной настройке монитора, его калибровки, так и во время анализов результатов

калибровки. Данные содержимого LUT можно сохранять в текстовый файл, что даёт возможность их дальнейшего их анализа, сравнения и правки при помощи софта сторонних разработчиков. Так, например, сглаживание графиков кривой тонопередачи можно осуществлять в табличном редакторе Excel, который поддерживает всевозможные алгоритмы интерполирования и аппроксимации данных.

Предварительная проверка и настройка монитора:

Прогреваем монитор (минимум 25-30 минут для мониторов на ЭЛТ, и 5-6 минут для ЖК-мониторов, чтобы лампа подсветки вошла в свой рабочий режим). За это время вы как раз успеете выполнить следующие действия.

- 1) Проверка и настройка геометрии монитора (мониторов) вашей видеосистемы. Для этого можно использовать любой софт сторонних производителей, по аналогии с «**DispTest**», который многие знают, как Nokia Monitor Test или Philips Test. *Можно загрузить и свои тестовые таблицы как флеш-приложения или в виде файлов JPG без компрессии, подгруженных «как есть», без изменения их геометрии, в область заставки рабочего стола.*
- 2) Настройка резкости (**Sharpness**) для мониторов ЖК или муара (**Moire**) для мониторов на базе ЭЛТ. Для этого используются шкалы, которые есть в вышеописанной программе freeware «DispTest». В программе **Calibrilla** для этого используется тест, вызываемый по быстрому нажатию клавиш **Ctrl+F1** (показать/скрыть для AdobeRGB) и **Shift+F1** (для sRGB). При отличной от них гамме используйте тесты, вызываемые быстрыми клавишами **F1, F5, F6, F7**. *(Читайте контекстную справку к внешним тестам, описывающую, для чего создан каждый из них).* Поля теста должны быть визуальным максимально однородными. Обратите внимание, что тесты программы (Ctrl+F1~F4 и Ctrl+ F9~F12) настроены на гамму 2,2 (2,1992), а тесты (Shift+F1~F4, Shift+F9~F12) рассчитаны согласно гамме sRGB. Остальные тесты (F1~F9) не гамма-адаптированы, и могут использоваться при любой целевой гамме.

При желании вы можете добавить свои дополнительные тесты, в папку с тестами ...\\Calibrilla_3\\External_Tests\\ Для того, что бы тесты вызывались по быстрым клавишам, в начале их названия нужно прописать (F5.png, CF6*.png, ..., SF9*.png), что соответствует одноимённым быстрым клавишам (F5, Ctrl+F6, ..., Shift+F9). Размер теста может быть любой, сам тест открывается под инструментальной панелью и затем может быть передвинут в любое место на мониторе. По умолчанию, в программе отведены следующие клавиши для имеющихся в комплекте тестов: (Ctrl+F1~F12) – AdobeRGB, (Shift+F1~F4 и Shift+F9~F12) – sRGB, (F1~F9) – общие для разных значений гаммы, содержащие тесты для первичной настройки и для проверки калибровки.*

**- назначение тестов для F1~F12, их последовательность в наборе и количество в разных версиях программы может отличаться от тех, что указаны в справке.*

- 3) Проверка настройки гаммы производится средствами визуального контроля программы **Calibrilla**. Её можно быстро проверить, выбрав в инструментальном окне соответствующего монитора точку 128 (**Shift+5**) и канал яркости (**Shift+~**) и дополнительно пройдя по каналам RGB (**Shift+1, Shift+2, Shift+3**). Настройки инструмента **ΔY:=0** (должны показывать 0). Визуальные тесты нужно установить на экране напротив глаз так, чтобы линия зрения (линия горизонта) по отношению к визуальному тесту была перпендикулярна к плоскости экрана, а при просмотре прищурившись с расстояния 50-70 см от глаз наблюдателя до плоскости монитора, тесты равномерно окрашивались бы в серый цвет. Если цвет будет отклоняться в оттенки RGB или CMY, это говорит о необходимости калибровки видеосистемы и о неравномерности при отображении гаммы (**y**) профиля системы, выбранной нами в основном окне программы. Для подобной проверки можно также использовать статические внешние тесты, вызываемые по быстрому нажатию клавиш **Ctrl+F4** (показать/скрыть для

- AdobeRGB*), **Shift+F4** (показать/скрыть для sRGB) и **F9** (показать/скрыть, при *Gamma=1~3,5*).
- 4) Для более детальной проверки всей кривой тонопередачи можно выбрать общий визуальный тест, и, выбрав канал «Яркости» (**Shift+~**) и используя быстрые клавиши «<» и «>» при активном окне инструментальной панели, просмотреть весь диапазон тонопередачи. Для подобной проверки можно также использовать статические внешние тесты, вызываемые по быстрому нажатию клавиш **Ctrl+F3** (показать/скрыть) и **Shift+F3** (для sRGB).
 - 5) Отдельно можно проверить настройку точки белого (**Ctrl+>**) и точки чёрного (**Ctrl+<**). В идеальном случае будут отображаться 7 рядов плашек, расположенных, как три вертикальных колонки в RGB и ещё одна колонка в Gr. Настройки инструмента **$\Delta Y=3$** (должны показывать 3). Хорошим (оптимальным) показателем будет результат, когда при этом будут отображаться 6ть рядов полосок из 7ми. При этом цветные полосы будут еле видны, особенно на белом фоне. Также для этого можно использовать внешние статические тесты, вызываемые по быстрому нажатию клавиш **Ctrl+F2** (показать/скрыть) и **Shift +F2** (для sRGB). Дополнительно используйте тесты **F1, F2, F3**. Вертикальные прямоугольники нижнего ряда должны быть различимыми по тону, но такое восприятие будет индивидуальным! Читайте контекстную справку к внешним тестам, где изложена методика более подробно.
 - 6) Точно так же, используя визуальные тесты, можно проверить неравномерность подсветки и соответствия относительно целевых значений (гамма-функции) по 9-ти основным точкам монитора. Для точной установки визуальных тестов на эти позиции, воспользуйтесь микрокнопками (от 1 до 9) в инструментальной панели, открытой на соответствующем мониторе. В случае многомониторной конфигурации, для сравнительной проверки нескольких мониторов, визуальные тесты, открытые в нескольких окнах, можно перетаскивать мышкой на экраны других мониторов. Тесты следует располагать вблизи границ с соседним монитором, чтобы они оба находились в поле вашего зрения и перпендикулярно к плоскости монитора по отношению к линии горизонта ваших глаз.
 - 7) Обязательно проверьте установку мониторного профиля в системе!

После проверки монитора и выявления необходимой дальнейшей правки (полной калибровки или частичной правки кривых тонопередачи), можно перейти, собственно, к самой визуальной калибровке видеопары.

Визуальная калибровка монитора:

Комбинированная программно-аппаратная калибровка требует отдельного рассмотрения и зависит от применяемого софта и прибора. В этом разделе мы не станем описывать функции отдельных инструментов программы, и методы работы с ними. Для этого есть «Полное описание интерфейса программы» и краткая справка, интегрированная в оболочку основного окна программы **Calibrilla**. Все фрагментарные этапы коррекции, по сути, входят в описание полной калибровки видеопары, поэтому, рассмотрим последнюю.

На первом этапе нужно сохранить текущие настройки видеосистемы, проверить загруженный софт и интерфейс сопряжения мониторов и видеоадаптеров системы.

- 1) Установите цветовой профиль монитора *.icm в систему. (см. «Введение в калибровку устройств отображения»).
- 2) Удалите из системной папки «автозагрузка» всевозможные утилиты загрузчиков в LUT VA, типа «Auto Loader» и «Adobe Gamma Loader».
- 3) Сохраните в отдельные файлы *.txt, при помощи программы **Calibrilla** данные из LUT VA для всех мониторов системы. Они вам смогут пригодиться в дальнейшем, в том числе для сравнительного анализа и отката на старые настройки.
- 4) Отключите и выгрузите из системы (из области трея) все программы, влияющие на отображения цвета, типа Riva Tuner (или просто отключите в них все функции, которые влияют на изменение цвета). Если вы не уверены в своих знаниях этих продуктов, то просто

- отключите их! Проверьте, отключены ли соответствующие функции в программе ATI Catalyst Centre, если вы используете её для видеоадаптера на базе графических чипсетов ATI.
- 5) Проверьте, по какому интерфейсу соединены кабелем ваш монитор и видео адаптер. Если нужно, измените соединение и сам кабель (о настройках интерфейса вашего монитора обязательно ознакомьтесь, прочитав «мануал» к нему).
 - 6) Перезагрузите систему.

После всех вышеописанных действий можно приступать к процессу визуальной калибровки вашей видеопары. Если у вас мониторы, составляющие многомониторную систему, разные по типу, то начните с «ведущего монитора», цветоотображение которого будет напрямую связано с профилем, загруженным в систему для CMS.

- 1) Запустите программу **Calibrilla** и выберите вкладку калибруемой видеопары (монитор + видео адаптер). Выберите нужное цветовое пространство. Произведите сброс данных LUT видео адаптера на начальные «линейные» значения (стандартные для некалиброванного видео адаптера) — кнопки «Сброс» и «B LUT» или **Ctrl+Alt+R** и **Shift+Ctrl+S**.
- 2) Нажмите кнопку «настройки» (**Alt+P**), откройте вкладку «настройки инструментальных окон» и выберите, как будут отображаться в дальнейшем визуальные тесты при открытии «инструментального окна монитора». Откройте инструментальное окно и панель дополнительных инструментов на нём (открывается вправо от инструментального окна монитора, увеличивая его на область дополнительных инструментов).
- 3) Произведите последовательно настройку точки чёрного «BP» и затем точки белого «WP» (саму настройку каждой из них мы разберём отдельно и более подробно, ниже по тексту). Для этого используйте инструменты фоновая «Подсветка» (**Shift+L**), «Яркость» (**Shift+L**), «Контраст» (**Shift+L**), а также поле ΔY «дельта градации серого» для настройки визуального контроля. Кроме генерируемых программой тестов используйте внешние (статические) визуальные тесты (**F1~F12** –общие, **Ctrl+F1~F12** для AdobeRGB и **Shift+F1~F12** для sRGB). Читайте контекстную справку к внешним статическим тестам, которая открывается в соседнем с тестом окне. Каждая группа клавиш содержит также пока незадействованные сочетания, в которые вы можете добавить свои внешние тесты. Переходы между градациями в тенях и светах должны быть равномерными. Для облегчённого изменения целого диапазона точек в светах и в тенях, в версии программы 3.3 был внедрён новый инструмент, позволяющий производить аппроксимацию участка точек к профилю образующему плавную кривую (вкладка инструмента «Изгиб в светах» открывается при нажатии на кнопку **[I]** (**Ctrl+Shift+W**), а вкладка инструмента «Изгиб в тенях» открывается при нажатии на кнопку **[J]** (**Ctrl+Shift+B**)). Изменение участка кривой осуществляется всего одним бегунком слайдера. Профиль кривой выбирается переключателем, при наведении на который вы увидите основные его параметры. Количество выключателей зависит от количества подгруженных профилей. Для возврата к средней точке используйте кнопку **[X]**
- 4) Настройте гамму для каждого из каналов цветности по средней точке. Начинайте изменение гаммы с канала «Яркости». Дополнительно используйте внешний статический тест (**Ctrl+F4**). После настройки гаммы установите среднюю часть пунктирной кривой **yVA**, совместив её с каналом «яркости» при помощи окна **y LUT Mon** (гамма монитора), которая изначально может быть разной для разных мониторов (**y LUT Mon :=2,5** по умолчанию для мониторов, предназначенных под Windows, но может быть и иной). Начинайте последовательную визуальную калибровку монитора, используя «Автоточки» (циклический последовательный переход по всем точкам, кратным 64, 32, 16 и 8 вперёд и назад без повторения в точках меньшей кратности уже пройденных точек большей кратности) (**Ctrl+Shift+>**) и (**Ctrl+Shift+<**). Это шаги, позволяющие последовательно переходить от точки к точке в оптимальном режиме, вперёд и назад (возврат), по последовательности корректируемых точек, а заодно автоматически выставлять значение для «плеч диапазона» для каждой из корректируемых точек. Начинайте всегда с канала «Яркости». Для изменения параметров точки используйте быстрые клавиши (**Shift+...Up, Down**) – по умолчанию соответствует шагу в 64 единицы по шкале LUT VA [0... 65280], что соответствует пропорциональному изменению значения цвета

на 0,25 единиц при цене деления согласно шкале RGB 8bit на канал [0... 255]; (**Ctrl+Shift+...Up, Down**) – соответствует шагу в 26 единиц по шкале LUT VA [0... 65280], что соответствует пропорциональному изменению значения цвета на 0,01 единиц, при цене деления, согласно шкале RGB 8bit на канал [0... 255]; (**Ctrl+...Up, Down**) – соответствует шагу в 1 единицу по шкале LUT VA [0... 65280]. См. полный список «Горячих клавиш» для оптимизации вашей работы с программой. Если вы начали калибровку с нуля, а не правку кривых, полученных после программно-аппаратной калибровки (в этом случае данные LUT VA не обнуляются), то сначала сравните по плотности показания третьего и четвёртого столбиков визуального теста. Третий столбик визуального теста представляет собой серое поле, соответствующее по координатам основной точке правки, а четвёртый представляет собой полосатую «зебру» состоящую из перемежающихся более светлых и более тёмных полос, равную по отношению к серому полю, при заданной целевой гамме (гамма профиля системы). После этого переходите на каналы цветности RGB и начинайте уравнивать второй столбик визуального теста к третьему, чтобы они были визуально равны по цвету. Первый столбик своей цветовой индикацией покажет вам, к какому каналу правки переходить дальше. Проходя первый круг «всех точек», постарайтесь не прибегать к режиму «реверс каналов», так как на данном этапе вам нужно растащить между собой кривые тонопередачи каналов. Воспользуйтесь этой функцией уже при повторном круге прохождения всех точек правки, уточняя и правя показания. Для плеч диапазона, превышающих или равных значению 32, можно включить режим **ΔXV** — визуальное сужение «видимого диапазона коррекции» (по умолчанию, **ΔXV:=4**, но может быть и большим для средней части кривых, приближаясь же к краям диапазона, визуальное сужение может быть приближено к 1).

- 5) После того, как вы прошли первый круг визуальной коррекции точек, пройдите его повторно для уточнения параметров. Теперь вы можете дополнительно использовать функцию «реверс», которая двигает два других канала относительно канала, выбранного для коррекции (кроме канала «Яркости»). Визуально, все четыре колонки визуального теста для каждой позиции правки должны быть серыми по отношению друг к другу. Наиболее сложно этого добиться на ЖК мониторах с TN матрицей. Они всё равно будут иметь лёгкий цветной отлив, меняющийся при изменении положения головы относительно монитора. Поэтому ещё до начала визуальной калибровки выберите удобное положение головы относительно монитора, опёршись на ладонь руки, стоящей локтем на столе рядом с клавиатурой. Главное, вам должно быть удобно, а линия ваших глаз должна быть расположена напротив визуального теста, и не сдвигаться в процессе прохождения калибровки по визуальным шкалам контроля. Очень хорошие результаты показывает визуальная калибровка на матрицах (IPS, PVA, MVA и подобных им) с широкими углами обзора (порядка 160~175°).
- 6) Заканчивайте калибровку одной видеопары, сохраняя её данные в текстовый файл. Выстройте для себя систему названий текстовых файлов так, чтобы не перепутать в дальнейшем с текстовыми данными других мониторов. Например (*краткое название монитора + краткое или полное название видео адаптера + дату калибровки + вариант калибровки или вносимой в калибровку правки*): *NEC1990_ATI_HD2600_14052010_1.crv3* Укажите путь для этого файла в меню автозагрузки (первая вкладка «автозагрузка» в окне «настройки», открывающегося из главного окна программы). В программе предусмотрено сохранение текстовых файлов в двух вариантах: в виде файла с тремя кривыми тонопередачи *.CRV3 и в виде набора из 3-х файлов *.CRV1 (*_r.crv1, *_g.crv1, *_b.crv1), когда кривая каждого канала сохраняется в отдельный файл. Кривые тонопередачи в таком виде можно конвертировать в профиль отображения монитора *.icm при помощи программы ICC Profile Inspector v.2.4 (не ниже!). Используйте «импорт» в теги *TRC, предварительно пересчитав данные (LUT VA, сохранённые как файлы *.CRV1) с учётом гаммы описанного в тегах (rTRC, gTRC, bTRC), и импортировав их в теги *TRC. Все дополнительные расчёты можно производить в EXEL. После изменения данных сохраните синтаксис записи файла формата *.CRV1. Во время импорта, при выборе профиля расширения выберите *.*, и дальше сохраните профиль монитора с новым названием. При этом содержимое LUT можно обнулить, оно будет сформировано автоматически относительно данных из тегов профиля *.icm. **Внимание!** – “Слепо” не загоняйте в эти теги данные файлов *.crv1, как есть.

*Этот формат введён для облегчения работы продвинутых пользователей, знакомых с основами колориметрии, включая формулы и расчёты. В нём данные каждого из каналов сохраняются в отдельный файл для дальнейшего простого экспорта в различные математические калькуляторы, созданные в табличном редакторе EXEL, и для дальнейшего экспорта в текстовый формат. В этой же программе (ICC Profile Inspector) можно исправить теги, описывающие основные хроматические колоранты (R, G, B) и точки белого (WP), как данные в системе XYZ. Эти данные можно измерить аппаратно, или, если монитор новый, извлечь их из его заводских замеров (прошитых в самом мониторе) и использовать их на протяжении ближайших 2х месяцев (при активной работе с устройством отображения). Можно взять эти данные из среднестатистического профиля для данной модели мониторов, который обычно предоставляется производителем совместно с драйверами устройства (но нужно помнить, что такие данные будут среднестатистическими и, вероятно, иметь отличия с теми, которые будут получены после калибровки вашего монитора!) Обычно это данные для режима отображения Native. Калиброванный визуально монитор можно характеризовать при помощи программно-аппаратных средств, в результате чего вам будет предложено сохранить данные в виде профиля устройства *.icm.*

- 7) Если нужно, проверьте отображение цвета, а заодно и автозагрузку, как это описано в разделе «предварительная проверка калибровки монитора». Перед проверкой не забудьте отправить данные, прописанные в автозагрузке, в LUT, нажав кнопку «В LUT», расположенную справа от списка на вкладке «Автозагрузка». Также, это можно сделать, не входя в настройки, при помощи «горячих клавиш» (**Ctrl+Alt+W**). После этого переходите к визуальной калибровке второй видео пары. Визуальные тесты проверки настройки видеопары для целевой гаммы AdobeRGB (2,1992): (**Ctrl+...F1~F4, F9~ F12**), для sRGB : (**Shift+... F1~F4, F9~ F12**).

Настройка точки чёрного – «BP» (Black Point):

Начиная с Calibrilla v.3.3:

Дополнительно к описанным ниже методикам настройки точек чёрного и белого, для упрощения регулировки плавных градационных переходов в тенях и светах, можно использовать новый инструмент, появившийся в версии 3.3. В нём используются профили различных кривых, которые автоматически подгружаются в инструмент и позволяют нужным образом изгибать кривую тонопередачи в тенях (или в светах) одним слайдером. Вы получаете всего один инструмент управления кривой, без необходимости выбирать точки и их плечи (что можно, однако, делать уже дополнительно). Сам же вид профиля, относительно которого вы изменяете кривую, выбирается нажатием на нужный переключатель. Переключателей может быть от одного до десяти, в зависимости от того, сколько профилей кривых находится в папке с профилями. Наведя на переключатель профиля, вы получите его описание, считанное из профиля. Сами профили могут быть C-образными, J-образными и S-образными. Возможно использование и V-образных, аналогичных изменению сплайнами профилей, меняющих выбранные участки диапазона яркостей. Последние к программе не прилагаются и могут идти отдельно, как дополнения к ней, или быть рассчитаны и построены самостоятельно. В одном файле профиля хранятся сразу две кривые – для светов и для теней, но в каждой из них может быть описан сразу весь диапазон точек. Некорректные профили, или если их в каталоге больше 10, подгружаться не будут. По умолчанию с программой идёт пять профилей. Остальные могут поставляться в других версиях и/или дополнениях к программе или создаваться пользователями самостоятельно. Профили содержатся в папке \Calibrilla\Dark_&_Lite_Profiles и имеют расширение *.dlp. Более подробно читайте в ReadMe!.txt расположенном в этом же каталоге.

Для настройки области, примыкающей к точке чёрного, используйте инструмент «Изгиб в тенях» [**J**] (**Ctrl+Shift+B**) совместно с внешними тестами **F2, F3** (Читайте подробную методику при

работе с инструментом «Изгиб в тенях» и этими внешними тестами, в контекстной справке, открываемой кнопкой [?], расположенной в шапке тестов).

Итак, методика настройки точки чёрного:

Для быстрого возврата к точке чёрного с установкой соответствующих значений для плеч диапазона правки, нажмите одноимённую кнопку «BP» или задействуйте комбинацию горячих клавиш (Shift+B). Таблица встроенного теста отобразит 7 цветных полос, расположенных в три столбика, и ещё один столбик с равными им по яркости полосами серого цвета, соответствующими каналу «Яркость». При правке **температуры** по точке чёрного можно переключаться между каналами цветности, предварительно снизив показатель правого плеча с 255 до 16. Без проверки температуры прибором, цвет вам придётся выбирать, как визуальное чёрный для вашего восприятия, максимально нейтральный, без оттенков других цветов. При наличии прибора вы просто ориентируетесь на заданную целевую температуру, измеренную при помощи колориметра или спектрофотометра в своём программном окне, размещённом на этом же мониторе. Для точки чёрного в программном окне прибора вам придётся задавать координаты для RGB, равные (255, 255, 255). В качестве дополнительных визуальных тестов используйте шкалы визуального контроля (**F2, F3**), вызываемые по горячим клавишам (**Ctrl+F2**) для AdobeRGB и (**Shift+F2**) для sRGB. Устанавливайте визуальные тесты на уровне глаз и перпендикулярно линии глаз относительно монитора.

- 1) Для установки всех каналов выберите сначала канал «Яркости», установите инструмент **ΔY:=3** (различия между полосками, согласно шкале RGB), а затем используйте инструмент фоновая «подсветка» (**Shift+L**), изменяя уровень энергетической яркости подсветки фона (уровень чёрного) матрицы так, пока вы не сможете различать 5-6 полос из 7-ми возможных. Если этого не удалось добиться, а вы уже замечено изменили чёрный на тёмно-серый, то вернитесь к предыдущему уровню, когда цвет был ещё чёрный.
- 2) Перейдите к окошку **ΔY** и начинайте увеличивать его показания, пока не отобразятся все 7 полосок из 7-ми возможных. После этого перейдите на точку, равную этим показаниям (*допустим, это точка 16*). Установите для левого плеча диапазона правки её же значение, а для правого плеча — 100. Присвойте **ΔY:=3** и начинайте поднимать в этой точке кривую канала «Яркость», пока визуальное в 3-м столбике не будет различимо три градации. После этого вернитесь к точке чёрного нажатием кнопки «BP».
- 3) Снова перейдите к инструменту **ΔY** и измените его показания так, чтобы опять отобразились все 7 полосок из 7-ми возможных. После этого перейдите на точку, соответствующую этим показаниям (*допустим, теперь это точка 12*), установив для левого плеча диапазона правки её же показания, а для правого плеча — 100. Присвойте **ΔY:=3** и начинайте поднимать в этой точке кривую канала «Яркость», пока визуальное в 3-м столбике не будут различимы три градации. После этого вернитесь к точке чёрного нажатием кнопки «BP».
- 4) Повторите вышеописанное действие (пункт 3) несколько раз, пока **ΔY** не выйдет на показатель 3, а точка правки не приблизится к 4. При этом вам станет сложно добиться 7-ми полосок из 7-ми, а только 5-6. На этом стоит остановиться и снова вспомнить инструмент «Подсветка» фона. Недостающие позиции непроявленных цветных полос вы сможете «выбрать» при его помощи. При этом должны отображаться все 7 полос.
- 5) Дальше пробуйте снижать показания **ΔY:=2**. Если при этом ни одной градации не закрылось, то перейдите к показаниям, выявленным в пункте 3 (в нашем примере это точка 16) и попробуйте визуальное уравнивать по тону средний квадратик третьей колонки с «зеброй» четвёртой колонки. После этого снова вернитесь к точке чёрного и, меняя показания для **ΔY** с 2-х до 3-х, проверьте, видны ли 6 градационных полос из 7-ми, или нет. Если нет, то ещё немного поднимите показания инструментом «Подсветка» фона.
- 6) Дальше, если это возможно, пробуйте снижать показания **ΔY:=1**, и производить действия по аналогии с действиями, описанными в пункте 5. Но, скорее всего, это может привести к очень сильно высветленным глубоким теням. От того достаточным будет условие, когда при соответствии визуального теста целевой гамме для точек 8 и 16, показания для **ΔY** будут равным **3-м**, при которых вам будут различимы 6 цветных из 7-ми возможных полосок для

«BP». На плохих матрицах тоновые кривые могут быть немного «задраны», и тем самым четвёртое поле быть немного темнее третьего по тону. Для лучшего визуального сравнения по гамме, показатель инструмента **ΔY** приравняйте к нулю — это его стандартная позиция при приведении к целевой гамме всего диапазона тонопередачи.

- 7) Правка точки белого производится по той же схеме, за исключением того, что выбирается точка с параметрами, равными **255-ΔY**, а сама кривая «задирается» вниз. Первоначально левое плечо выставляется равным 224 при основной точке правки 255, а правое плечо приравнивается к нулю. Показатели для каждого из каналов цветности меняются таким образом, чтобы белый цвет был визуально нейтрален. При наличии аппаратно-программных средств, значение точки белого приводится к целевым значениям по цветовой температуре. Вместо инструмента «Подсветка» для выявления точки белого используется инструмент «Контраст». Для точной визуальной установки точек чёрного и белого рекомендуется использовать специальные визуальные тесты, которые выйдут как дополнение к настоящей программе. Кроме того, в качестве начальных кривых удобно использовать стартовые кривые тонопередачи, подготовленные и сохранённые заранее из папки Various_Curves с расширением *.crv1. Читайте файл ReadMe!.txt из этой же папки.

Настройка точки белого - «WP» (Waite Point):

Для быстрого возврата к точке белого с установкой соответствующих значений для плеч диапазона правки, нажмите одноимённую кнопку «WP» или комбинацию горячих клавиш (Shift+W). Настройка точки белого аналогична настройке точки чёрного (см. пункт 7 из предыдущей методической выкладки «Настройка точки чёрного»).

После установки точки белого и точки чёрного, вторично правится средняя точка при помощи инструмента «Гамма», после чего можно немного изменить показания всех точек кривой инструментом «Яркость» при включённом канале «Яркость». Это имеет смысл делать, если полученная точка чёрного оказалась слишком светлой, что видно визуально по светимости монитора.

При программно-аппаратном контроле точек белого и чёрного, их показатели сводятся к целевым значениям калибровки (**«BP» := 0,35 Cd/m²; «WP» := 85 Cd/m²; Temperature := 6500k; Gamma := 2,1992 для sRGB, с учётом нашего примера**). Для упрощения визуальной калибровки можно её начинать уже после программно-аппаратной калибровки, используя полученные данные линеаризации, как предварительные данные для визуальной калибровки видеосистемы. Особенно это актуально, когда нужно править монохроматический сдвиг, выявленный на конкретном мониторе.

Начиная с Calibrilla v.3.3:

Для настройки области, примыкающей к точке белого, используйте инструмент **«Изгиб в светах» [J]** (Ctrl+Shift+W) совместно с внешними тестами **F2, F4** (Читайте подробную методику при работе с инструментом «Изгиб в светах» и этими внешними тестами, в контекстной справке, открываемой кнопкой [?], расположенной в шапке тестов!)

5. Дополнительные тестовые наборы.

Дополнительные тестовые таблицы, которые будут нужны при полной калибровке:

- 1) Тестовая визуальная таблица с набором чередующихся в шахматном порядке областей с «зеброй» вертикальных полос и таких же горизонтальных участков. При настройке параметра **Sharpness** (резкость) визуальная шкала должна рассматриваться однородной с расстояния $0,7 \div 1,2$ м от монитора. Тест вызывается по нажатию быстрых клавиш (**Ctrl+F1**) для AdobeRGB и (**Shift+F1**) для sRGB. При ином значении гаммы используйте тесты (**F1, F5, F6, F7**). *(Читайте подробную методику при работе с внешними тестами в контекстной справке, открываемой кнопкой [?], расположенной в шапке тестов!)* Для настройки параметра **Sharpness** (резкость) и **Pixel Clock & Phase** (Тактовая частота и Фаза), если они есть в меню управления монитора, дополнительно используйте (**Ctrl+F9**) для AdobeRGB и (**Shift+F9**) для sRGB.
- 2) Тестовая визуальная таблица с набором тёмно-серых квадратов на чёрном фоне, отличающихся друг от друга содержанием RGB. Используется для настройки уровня чёрного. Тестовая визуальная таблица с набором светло-серых квадратов на белом фоне, отличающихся друг от друга содержанием RGB. Используется для настройки точки белого визуально. Тест вызывается по нажатию быстрых клавиш (**Ctrl+F2**) для AdobeRGB и (**Shift+F2**) для sRGB. Может быть выполнена на сером фоне с учётом, что средняя точка перед этим должна быть сведена по гамме! Этот тест можно разнести на две отдельные части, увеличив площадь каждого из визуальных тестов в отдельности, см. дополнительные шкалы **F2, F3, F4**.
- 3) Градационная карта всего диапазона. Тест вызывается по нажатию быстрых клавиш (**Ctrl+F3, F4**) для AdobeRGB и (**Shift+F3, F4**) для sRGB. Для этих целей может использоваться уже существующий тест для проверки калибровки монитора, но с градуированной шкалой для точек диапазона RGB [0... 255]. При этом на карте должны быть проградуированы все поля, соответствующие значениям «ленивых клавиш» перехода по точкам во время калибровки. При калибровке она поможет быстро ориентироваться, какие участки кривой тонопередачи необходимо править.

Все 4 визуальных теста могут быть выполнены в разном типоразмере, где оптимальны размеры шкал 500x500, 250x500, 500x250, 125x500, 500x125 px и прилагаться как дополнение к настоящей программе **Calibrilla**.

В настоящее время к программе прилагаются тесты размером 160x512px (высота к ширине (HxB)). Для мониторов с матрицей TN более большой по высоте тест использовать не целесообразно. В папку с визуальными тестами вы можете поместить и свои тесты, предварительно сохранив старые в отдельной папке. Для вызова тестов из программы вам доступны служебные клавиши в комбинации от **F1** до **F12**, от **Ctrl+F1** до **Ctrl+F12**, и от **Shift+F1** до **Shift+F12**. Каждый файл теста должен начинаться с соответствующего названия функциональной клавиши (от **F1** до **F12**, от **CF1** до **CF12**, и от **SF1** до **SF12**), и быть помещён в папку с тестами программы **Calibrilla** «*External_Tests*».

6. Внедрение кривых тонопередачи в профиль устройства отображения.

Для импорта кривых тонопередачи в профиль монитора можно сохранить данные LUT в файлы с расширением *.CRV1 (в этом формате одновременно сохраняется три файла, по одному для каждого цветового канала). Эти данные легко импортировать в *.xls для дальнейшего математического преобразования согласно данным, что уже содержатся в тегах (r_TRC, g_TRC, b_TRC). Полученные данные можно импортировать в профиль *.icm монитора. (Как разделитель должна быть точка, с точностью до 6го знака за запятой). Конечный файл имеет вид, алогичный структуре файла *.crv1 но с пересчитанными данными. Затем эти файлы с помощью программы ICC Profile Inspector (версии не ниже 2.4), импортируются в соответствующие теги xTRC (чтобы увидеть в окне Read Curve файлы *.crv1, смените в фильтре тип файла с *.txt на *.*), а сам профиль монитора пересохраняется с иным именем *.icm.

Последовательность операций по экспорту кривых в мониторный профиль:

1) Сохранить в текстовый файл curve_*.crv1 результаты визуальной калибровки монитора. При этом данные LUT VA будут автоматически сохранены в три отдельных файла — один файл для одного канала цветности:

curve_r.crv1 (соответствует данным красного канала цветности)

curve_g.crv1 (соответствует зелёному каналу)

curve_b.crv1 (соответствует синему каналу)

Данные этих файлов нужно пересчитать согласно данным, содержащимся в профиле монитора, в тегах rTRC, gTRC, bTRC и относительно данных *.crv1 при обнулённом состоянии LUT VA. Данные из этих тегов профиля преобразуются как последовательность чисел, где $Y=f(X)^{\Gamma}$ для каждого из значений от 1го до 256го. При этом числа приводятся к диапазону, аналогичному LUT VA (0~ 65536) $X=x*256$, аналогичной последовательности чисел описанной в файлах *.crv1 (содержащие данные коррекции во время калибровки LUT VA).

Определим формулы для расчётов:

Formula (1) Что такое целевая гамма-функция отображения (OEFT)?

Для каждой целевой гамма-функции берётся формула её OEFT. Так, например, BT. Rec.2020 определяет линейную передаточную функцию для гамма-коррекции, которая является той же самой передаточной функцией для гамма-коррекции, что и в Rec.709, за исключением того, что его параметры заданы большей точностью:

$E' := 4.5 * E$, ЕСЛИ $0 \leq E < b$, ИНАЧЕ $a * E^{0.45 - (a-1)}$ ЕСЛИ $b \leq E \leq 1$, где E – сигнал, пропорциональный интенсивности света на входе камеры, а E' – соответствующий нелинейный сигнал, а значений a и b – значения функции, которые обеспечивает необходимое условие для непрерывного соединения двух отрезков кривой яркости, для достижения функции с непрерывным наклоном, и приводит к значениям $a = 1,09929682680944...$ и $b = 0,018053968510807....$ По практическим соображениям могут использоваться следующие значения:

$a = 1,099$ и $b = 0,018$ для 10-битовых систем

$a = 1,0993$ и $b = 0,0181$ для 12-битовых систем

Соответственно гамма-коррекция согласно UHDTV (Rec. 2020) имеет вид:

// In := if $y > 0.0181$ then $L = 1.0993 * y^{(1/2.22222)} - 0.0991$ else $L = 4.5 * y$ – данный OEFT (для камеры);

// Out := if $y > 0.081$ then $L = ((y + 0.0991) / 1.0993)^{(1/0.45)}$ else $L = y / 4.5$ – данные EOFT, содержащиеся в тегах ICC/ICM профиля 'TRC' (для устройств отображения).

Formula (2) Если точка чёрного для трёх каналов цветности и точка белого совпадают с краями диапазона, согласно спецификации ICC с значениями 0 и 65535, по сути это последняя модификация формулы (1). Формула описывает, как рассчитывает это программа CLTest (при этом не учитывается ситуация, что края диапазона могут не совпадать по своим значениям, поэтому в описание значений для формулы внесены исправления и уточнения) .

Внимание, по умолчанию используйте формулу (2.1 и 2.2)!

Formula (2.1)

Для более сложных гамма-функций EOFT, для каждой из 256 точек диапазона выведена своя целевая гамма, как одномерная таблица. После чего сам расчёт 'output' кривой CRT имеет вид простого алгоритма описанного следующей формулой и легко встраиваемой в любую программу:

Gamma for Count=256,

$f(16bit) = (Count^{2-1}) / Count = 257$

$In = (255 * (Count / 255)^{(1/Gamma_In)}) * f(16bit)$

$Out = (255 * (N / 255)^{Gamma_Out}) * f(16bit)$

где $257 = 65535 / 255$, а $65535 = 2^{16} - 1$ (отнимаем единицу, т.к. это «нулевое»/первое значение всей шкалы, где 65535 – это максимальное значение при 16bit-ном цвете). Табличные значения Count(N) and Gamma(fof N):=Gamma_Out есть в файлах *.CSP, в папке ColorSpaces/

Formula (2.2)

Как найти целевую гамму для каждой точки диапазона Count(N) and Gamma(fof N)?

Count := 256, а Gamma := Gamma_TRC что идентично Gamma(fof N),

Gamma_TRC = Log(Vn/65535, V0/65535) + f(p), где Vn := 1DLUT из тега 'TRC', а V0 := Count * 257 (номер точки кривой, кроме первого и последнего, при шкалировании самой кривой в 256 значений). Конечно предварительно кривую можно рассчитать самостоятельно в табличном редакторе, используя саму целевую гамма-функцию EOFT для данного стандарта/рекомендации, но в теге 'TRC' она получена точно так же и если вы не знаете правильную формулу, то можете взять значения Экспортировав их из тега профиля, что поддерживает такую гамма-функцию EOFT. Gamma_TRC (Count=0):=1

Формулы есть в справке файлов *.CSP, в папке ColorSpaces/

// Формула (2.2) для табличного редактора EXCELL:

//Gamma In:=ЕСЛИ(1>In/65535;ЕСЛИ(In/65535>0;LOG(Count/255;In/65535);1);1),

где In(0...65535), а N=(Caunt) (0...255)

//Gamma Out:=ЕСЛИ(1>N/255;ЕСЛИ(Count/255>0;LOG(Out/65535;Count/255);1);1),

где Out(0...65535), а N=(Caunt) (0...255)

Formula (3) Давайте разберём, что делать, если точки чёрного и белого имеют разные значения и не совпадают с краями диапазона (стандартная ситуация для содержимого LUT VA), теоретически во время редактирования суммарно применяем следующую формулу по умолчанию, потому как она учитывает ситуации, рассмотренные в формулах (1) и (2) :

$G_TRC_New2 = Min + (Max - Min) * [((F0 - Min) + (Fn - F0)) / (Max - Min)]^{G_TRC}$

Max – максимальное значение, взятое из канала цветности (из файла *.CRV1).

Min – минимальное значение, взятое из канала цветности (из файла *.CRV1).

G_TRC – по сути, наша целевая гамма из главного окна программы, которая и должна быть прописана в теге CRT профиля монитора *.icm, или же это значение может отличаться для каждой точки кривой тонопередачи, и его нужно брать из табличного файла для каждого значения отдельно.

Fn – данные LUT VA из файла *.CRV1

F0 – обнулённые данные LUT VA, из файла 0*.CRV1

– с одной стороны, казалось бы это всё что нам нужно сделать с данными из *.CRV1.

На практике нужно помнить, что в теге 'TRC' хранится только целевая гамма 'Input EOTF' + дополнительно возможно к ней добавить гамма-компенсацию для данного монитора.

В противном случае вы можете обрезать информацию в тенях и/или светах, или исказить информацию в тенях и там появится «горб» или «прямая линия» - повторяющийся ряд значений, особенно если гамма-функция стремится к увеличению кривой, ещё более искривляя её вниз. Когда значения начинают повторяться, превращаясь в прямой участок. – При этом ряд градаций тона

превращается всего в один тон и градации первичные теряются, для чего следует контролировать числовые значения краёв диапазона. Если это произошло, то откажитесь в теге 'TRC' от дополнительного компенсирующего монитор гамма-прироста значений и оставьте только стандартную функцию целевой гаммы. Последнюю можно посчитать и в табличном редакторе по формулам описанным в программе, см. файлы *.CSP и читайте разделы справки, где описана функция EOFT), а вот значения изменяющие точку белого и точку чёрного, как и профиль компенсирующей кривой вблизи точки белого и чёрного и далее на протяжении всей кривой тонопередачи, должны быть сохранены отдельно в тег 'VCGT', т.к. эти кривые тонопередачи применяются последовательно, одна после другой. **[f(CMM - V Linear)] -> [f(input EOFT - 'TRC')] -> [f(compensation CLUT VA - 'VCGT')]**

Мы сейчас по сути разобрали, почему изначально никто не запирает все данные в тег 'CRT':=
Gamma_TRC := Gamma(fof N), а часть информации хранит в одномерном LUT тега 'VCGT' := **CLUT VA**
Точно также и в табличных профилях, содержится три кривых (A, B, C), а не одна, кроме 3DLUT, внутри конвейера преобразований тега 'AtoB' или 'BtoA'. Третья кривая используется для шкалирования числового диапазона.

Резюме: если компенсационная гамма-функция к целевой гамме не уменьшает число градаций. То мы можем записать её вместе с тегом 'TRC', а все остальные правки записать уже в кривую тега 'VCGT', иначе все дополнительные правки, включая и компенсирующий для монитора гамма-прирост пишутся в тег 'VCGT', а функция EOFT в тег 'TRC'.

Именно по этим причинам рекомендуется использовать формулу (2.1) и (2.2)!

2) Наши файлы приведены к виду, читаемому программой

ICC Profile Inspector (freeware) <http://www.color.org/profileinspector.xalter>

Данные о кривых тонопередачи LUT VA каждого из каналов цветности могут быть сохранены, как отдельные текстовые файлы, даже если они были изначально сохранены в одном файле (например, с расширением *.crv3), или были созданы в другой программе *.txt (некоторые гамма-функции готовые для загрузки в тег CRT есть в папке Various_Curves/...). В случае единого текстового файла можно экспортировать его в табличный редактор Excel, где его удобно будет разделить в три отдельных файла, например: curve_1_red.txt, curve_1_green.txt, curve_1_blue.txt

3) **Для версий программы Calibrilla 3.4 и 4.2:** открыть профиль монитора (например, Nec1990sv_D60G22_035-796_5.icm) в программе ICC Profile Inspector.

Для версии программы Calibrilla 5.0: войти в меню «Сохранить в файл» из главного окна программы, выбрать расширение *.icc или *.icm (что зависит от того какой профиль вы будете редактировать, изменяя его данные и внедряя в него новые данные и/или теги), а также выбрать и нажать файл в который вы планируете делать «внедрение» новых данных. После нажатия на кнопку «Сохранить», данный файл будет архивирован с добавлением в его конце расширения *.old, а его данные (теги) будут использованы в открывшемся меню «внедрения» для редактирования профиля, как и после сохранения он унаследует аналогичное имя профиля, если вы его не измените в соответствующем теге.

4) **Для версий программы Calibrilla 3.4 и 4.2:** Импортировав в его теги полученные путём пересчёта (см. п. 1) файлы (два раза щёлкните мышью по названию нужного тега, для открытия возможных действий с ним):

curve_r.crv1 (или curve_1_red.txt) импортировать в тег rTRC

curve_g.crv1 (или curve_1_green.txt) импортировать в тег gTRC

curve_b.crv1 (или curve_1_blue.txt) импортировать в тег bTRC

Для версии программы Calibrilla 5.0: приступить к редактированию нужных тегов в окне «внедрение в ... профиль*.*» (все действия подробно описаны в справке по данному модулю).

5) При помощи программы

Monitor Asset Manager (freeware) <http://www.entechtaiwan.com/files/moninfo.exe>

Вы можете уточнить координаты хроматических красного, зелёного и синего цветов, а также точки белого, измеренных при выпуске вашего монитора и прошитых в него на заводе.

Пример данных, которые считывает программа **Monitor Asset Manager**:

Color characteristics
Default color space..... sRGB
Display gamma..... 2,20
Red chromaticity..... Rx 0,640 - Ry 0,330
Green chromaticity..... Gx 0,300 - Gy 0,600
Blue chromaticity..... Bx 0,150 - By 0,060
White point (default).... Wx 0,313 - Wy 0,329
Additional descriptors... None

Эти данные вы тоже можете исправить в соответствующих тегах профиля при помощи программы **ICC Profile Inspector** для версий программы Calibrilla - 3.4 и 4.2, в версии 5.0 появился свой модуль редактирования тегов «внедрение в ... профиль *.*», который имеет более расширенный функционал и доступен при сохранении результатов в файл из главного окна программы (*в качестве профиля, подлежащего правке, можно использовать заводской профиль монитора для данной модели, он обычно есть в наборе инсталляции монитора, а для импорта тегов в папке с профилями есть тестовый профиль, откуда можно заимствовать нужные теги, которые планируете редактировать/изменять или берите аналогичные теги из профиля созданного для вашего монитора при его программно-аппаратной калибровке*). Если вы не планируете изменять и компилировать новый профиль, а хотите воспользоваться только функцией просмотра содержимого текущего, то после окончания работы с модулем выйдите из него не сохраняя изменений, нажав стрелку отката – «отменить внедрение»!

6) Для версий программы Calibrilla 3.4 и 4.2: Сохранить профиль, добавив в его название любую удобную для вас метку, благодаря которой вы будете знать о видоизменении отредактированного профиля, например "_TRC" или "_v2" и получить профиль (например, Nec1990sv_D60G22_035-796_5_TRC.icm), после чего подгрузить его в систему (нажать правую кнопку мыши, и выбрать «Загрузить в систему»)

Для версии программы Calibrilla 5.0: в главном меню программы, рядом с индикацией видеокарты, есть кнопка [...], при наведении на которую виден текущий загруженный в систему профиль для данной видеопары, и при переходе по которой откроется меню для изменения системного профиля пользователя (теперь не нужно дополнительно идти в систему, чтобы изменить эти настройки). Дублируется кнопка [...] – «Сменить системный профиль» и в первой и второй вкладках окна модуля СММ, рядом с профилями 'Output' каждого из последовательных конвейеров модуля СММ. Первый – осуществляет правило для ассоциирования графического тестового файла с профилем (назначения профиля для обрабатываемого СММ материала – внешние тесты и шкалы контроля при редактировании) и далее его конвертирования в выбранное цв. пространство, а второй конвейер обработки уже конвертирует полученные данные в мониторный профиль. Если задействован только один конвейер обработки, то на его входе назначается правило ассоциирование файлов и тестовых таблиц, а на выходе ставится мониторный профиль в который происходит конечное преобразование для отображения на экране. (*Более подробно о работе модуля СММ смотрите в разделе справки посвящённой этому модулю*)

7) Для версий программы Calibrilla 3.4 и 4.2: Два раза щёлкнуть левой кнопкой по полю рабочего стола, выбрав "Свойства", в появившемся окне выбрать вкладку «параметры», отметить текущий монитор и нажать кнопку «Дополнительно». В появившемся окне выбрать вкладку «Управление цветом», нажать кнопку «Добавить», выбрать наш конечный профиль и нажать "ОК!"
Все действия описаны для Windows XP и Vista. В Windows 7/8/10 путь немного отличается (удлиняется).

Материал подготовил Кобзарь А.Ю., 2019г. (Материал был первично подготовлен в 2011г. для Calibrilla v.3.4 и позже отредактирован с учётом изменений в Calibrilla v5.0. При нахождении ошибок в формулах, опечатках или неточностях - пишите мне на почту!)