

Будущее настолько ярко, что мне нужны темные очки: тестовые таблицы для HDR

Р. Норман Херст, SRI International

Окончание. Начало в № 7/2017

Норман Херст работал в отделе видео компании SRI International в Принстоне с 1980 года, когда это еще была фирма Sarnoff Labs, принадлежавшая RCA. К числу его работ относятся прототипы кодера и декодера DirecTV, конструкция студийной камеры, технология электронных водяных знаков, методы субъективного тестирования, комплекты Sarnoff Test Bitstreams и система Grand Alliance HDTV. В настоящее время он разрабатывает средства для испытания современных и перспективных видеосистем. В его активе более 30 патентов.

Цветные полосы – с 1953-го

Цветные полосы – синоним телевидения. Они с нами в течение десятилетий, и мы включили элемент «цветные полосы» в исходную таблицу Visualizer, даже несмотря на то, что она мало говорит о свойствах цифровых видеосистем. Более того, невзирая на название «цветные полосы», эти полосы в действительности не определяют цвета (цветовая таблица SMPTE-303 Macbeth Chart не содержит четко определенных цветов). Цветовые полосы – это лишь сочетания трех основных каналов, заданных на уровне 75% от условного диапазона значений. Реальные цвета и яркость зависят от системы, в которой они используются. Если система соответствует Rec. 709, то и указанные параметры соответствуют этому же документу,

если система соответствует Rec. 2020, то значения будут отвечать данному стандарту. А если система настроена по SMPTE-2094, то яркость примет значение 983 кд/м^2 (во всяком случае, для белой полосы).

Версии Visualizer, отвечающие Rec. 709, по-прежнему содержат 75% цветные полосы, но для представления более широких цветовых пространств мы добавили элемент, который называем «полосы гаммы». Полосы гаммы – это последовательность 12 цветов, вычисленных в координатах xyY , которые пересекают границы треугольника гаммы в координатах CIE x, y , начиная с синего (слева внизу) и далее по часовой стрелке до зеленого, потом вниз к красному и поперек к пурпурным оттенкам. Это определяет значения x, y для каждого цвета, но не Y (яркость). Для каждого цвета значение Y установлено в такое наибольшее, которое не приведет к выходу любых значений RGB за пределы диапазона $0 \dots 1$ когда значения x, y, Y преобразованы в RGB в данном цветовом пространстве.

Каждая полоса содержит меньшую полосу, насыщенность которой снижена в направлении D65 на пять delta-E (dE76). Это может помочь выявить обрезку или изменение цветового тона. В версиях Visualizer по Rec. 2020 эта таблица полос гаммы повторена для цветовых пространств 2020, P3 и 709, то есть созданы три ряда полос гаммы.

Значение Y для каждого цвета было определено по нормализованной шкале. Это значение Y масштабировано в диапазон яркости, который меняется каждые 2 с от 100 до 10000 кд/м^2 (для SMPTE-2084). Поскольку ни один монитор не может отобразить 10000 кд/м^2 , интересно понять не только как монитор справляется с яркими нейтральными значениями (Лестница Иакова), но и как он справляется с цветами, имеющими большую яркость – будет ли он снижать яркость всех трех каналов пропорционально, а потому сохранять корректными цветность и насыщенность? Или он станет просто обрезать либо изменять тон в каждом канале RGB независимо, что приведет к цветовому смещению, а, возможно, к уходу в белый?

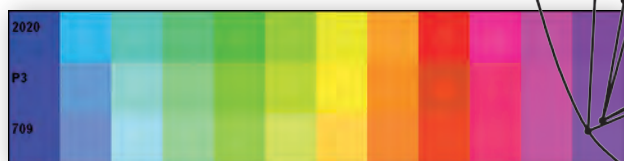


Рис. 7. Слева: полосы гаммы, справа: диаграмма CIE, отображающая расположение 12 цветов в каждой гамме: 2020, P3 и 709

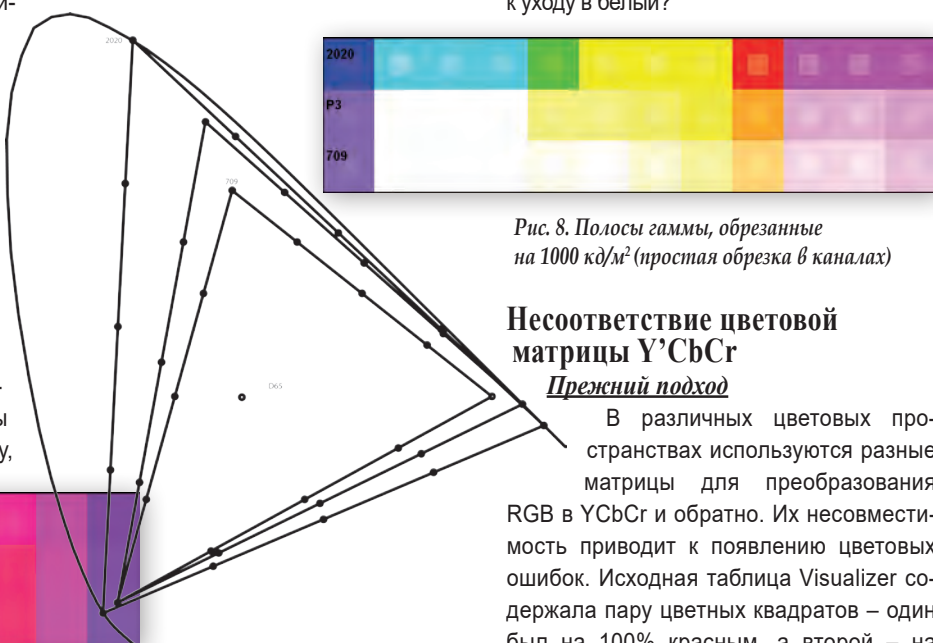


Рис. 8. Полосы гаммы, обрезанные на 1000 кд/м^2 (простая обрезка в каналах)

Несоответствие цветовой матрицы Y'CbCr

Прежний подход

В различных цветовых пространствах используются разные матрицы для преобразования RGB в Y'CbCr и обратно. Их несовместимость приводит к появлению цветовых ошибок. Исходная таблица Visualizer содержала пару цветных квадратов – один был на 100% красным, а второй – на 100% зеленым. В каждом квадрате был также меньший квадрат с пониженным уровнем яркости. Если в системном

тракте наблюдалось несоответствие цветовой матрицы Y'CbCr, общие уровни красного и зеленого каналов тоже показывали несоответствие. Квадрат уменьшенной яркости был разработан так, что если возникало несоответствие и усиление яркости в канале увеличивалось, то уменьшенный уровень поднимался бы до 100%. Поскольку дисплей отсекает все выше 100%, он выходит на корректное отображение в районе уровня 100%, и внутренний квадрат становится невидимым. Это хорошо работало для устранения несоответствия матриц в соответствии с Rec. 709/601.

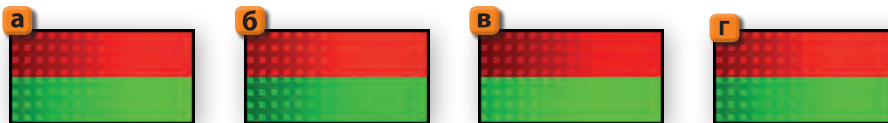


Рис. 10. Новый детектор несоответствия цветовой матрицы:
 а) матрица верна – рамки отсекаются в одной и той же точке;
 б) 601 как 709 – отсечка красной рамки происходит раньше, чем зеленой;
 в) 709 как 601 – отсечка зеленой рамки происходит раньше, чем красной;
 г) 2020 как 709 – отсечка красной рамки происходит чуть раньше, чем зеленой

Набор таблиц Color Space and Monitor

Visualizer создан с расчетом быть единственной тестовой таблицей, способной выявить ряд потенциальных ошибок, и она с этим хорошо справляется. Но более глубокие испытания можно провести, когда доступен весь экран. Поэтому была создана группа испытательных последовательностей, названная комплектом тестовых таблиц Color Space and Monitor, или, сокращенно, CSM. В настоящее время комплект содержит 15 испытательных последовательностей.

Multispace

Это одна из таблиц в комплекте CSM, содержащая Лестницу Иакова, таблицу Macbeth и элементы Face – лица, каждое из которых визуализировано в восьми разных цветовых пространствах (рис. 11).

Многим людям не составляет труда запомнить, как выглядят три лица, когда они отображаются корректно. Поэтому определяя, какое из восьми групп лиц можно считать корректным, пользователь может понять, как сигнал интерпретируется дисплеем. Метки по левому и правому краям индицируют используемое цветовое

пространство. Например, если верхний левый образ выглядит корректно, его данные интерпретируются как отвечающие Rec. 709.

Другой вариант использования Multispace – это проверка преобразования цветового пространства. При конверсии сигнала из PQ/2020 в Rec.709 и отображении его на мониторе Rec.709 изображение PQ/2020 (второе слева на рис. 11) будет выглядеть корректно.

Multispace можно настроить под любые восемь цветовых пространств.

Multispace – абсолютная яркость для всех!

SMPTE ST-2084 (PQ) уникальна среди всех передаточных функций тем, что она ставит условные значения в соответствие абсолютным значениям в кд/м². Ни одна другая передаточная функция такого не делает. Но чтобы добиться появления PQ и других цветовых пространств в таблице Multispace, нужно было присвоить значения в кд/м² всем другим передаточным функциям (рис. 12).



Рис. 9. Прежний подход для выявления несоответствия цветовой матрицы – все зависело от отсечки монитора на известном уровне. Слева – корректное отображение, в центре – Rec. 601 как Rec. 709, справа – Rec. 709 как Rec. 601

Проблемы с прежним подходом применительно к HDR

Тем не менее этот элемент таблицы зависит от того, как монитор отображает все условные значения вплоть до 100%, и как он отсекает все выше 100%. Но HDR-мониторы, отвечающие ST-2084 (PQ), не способны отображать весь диапазон яркости контейнера и будут применять преобразование оттенков либо делать отсечку на определенном уровне яркости, который зависит от конкретной модели монитора и его производителя. Все HDR-мониторы сегодня делают отсечку значительно ниже уровня 100 IRE, поэтому нельзя полагаться на канальную отсечку, происходящую на известном уровне.

Да, нельзя рассчитывать на конкретную точку отсечки, но все, что действительно нужно, это проверить, что отсечка в красном и зеленом каналах происходит в одной и той же точке. Поэтому данный элемент (пара квадратов красного и зеленого цветов) был заменен парой калиброванных рамп – красной и зеленой (рис. 10). Используя параллельные красную и зеленую рамп, можно визуально определить, выполняется ли отсечка для них в одной и той же точке или на разных уровнях. Клетчатая текстура была добавлена в рамп, чтобы упростить визуальное выявление точки отсечки. Кроме того, во времени меняется и градиент, поэтому вне зависимости от яркости монитора, будь то 500 или 4000 кд/м², точка отсечки хорошо видна.



реклама



Рис. 11. Таблица Multispace содержит три одинаковых элемента, визуализированных каждый в восьми цветовых пространствах. Та часть, которая выглядит корректно, показывает, как сигнал интерпретируется монитором.

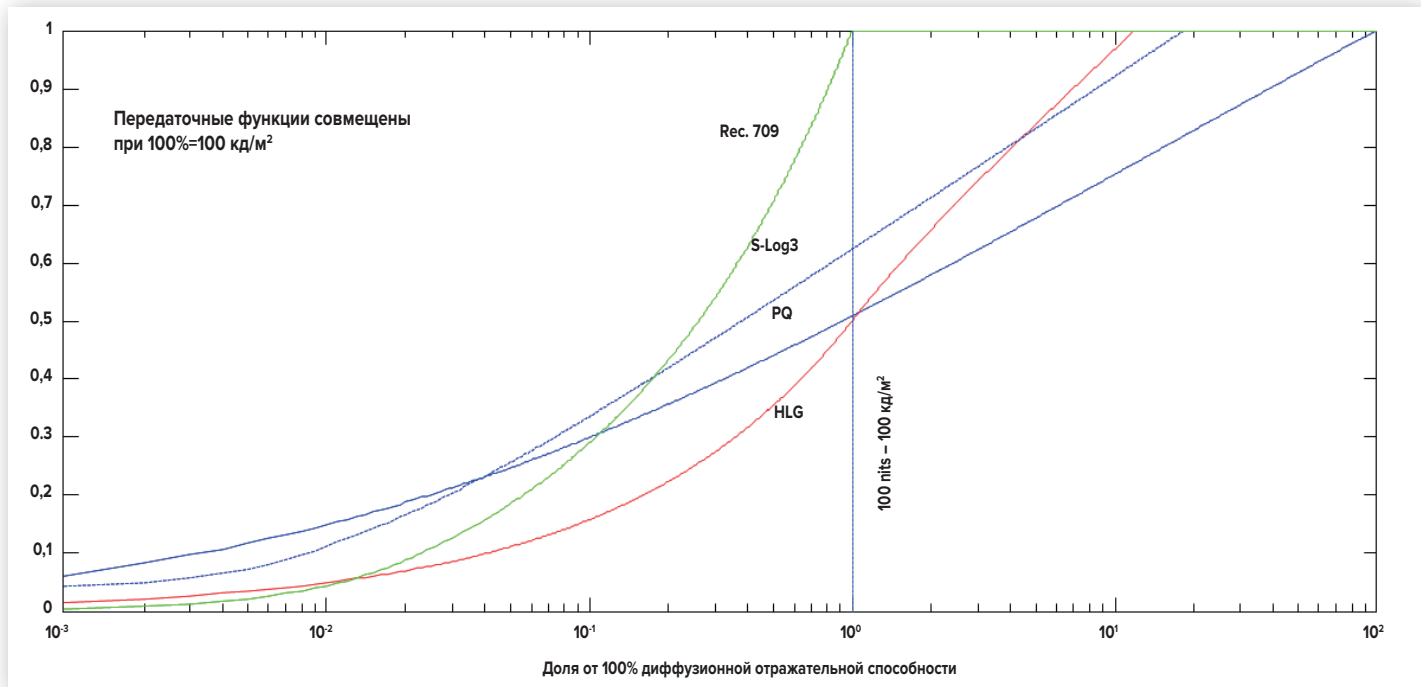


Рис. 12. Чтобы PQ соотносилась с другими передаточными функциями в таблице Multispace, было определено, что 100% отражение рассеяния соответствует яркости 100 кд/м² для всех других оптико-электронных передаточных функций.

Применительно к Visualizer было также решено, что 100% отражение рассеяния будет соответствовать значению 100 кд/м². Для каждой из остальных передаточных функций (ACESproху, S-Log3, HLG) определялась точка на кривой, представлявшая 100% рассеяние (эталонный белый в HLG приняли за 100% значение рассеяния). Рассеяние в 100% было принято за 100 кд/м² для всех передаточных функций. Для таких цветовых пространств, как Rec. 709 решили считать 100 IRE (максимальное условное значение) эквивалентным 100% рассеянию.

Тройные цветные полосы

Хотя цветные полосы не являются точно заданными цветами, их можно конвертировать в то или иное цветовое пространство, как если бы они были созданы в ином цветовом пространстве. Например, если есть 75% цветные полосы, их можно преобразовать в цветовое пространство по Rec. 2020, как если бы они были созданы из цветового пространства по Rec. 709. По сути, полосы 709 можно поместить в контейнер 2020. При просмотре на мониторе они отобразятся как пастельные тона, а если смотреть на вектороскопе, то будут выглядеть мало насыщенными. Но

если затем этот сигнал конвертировать из Rec. 2020 в Rec. 709, то цветные полосы станут выглядеть корректно и на мониторе, и на вектороскопе.

Путем объединения цветных полос из трех цветовых пространств (2020, P3 и 709) в один контейнер цветового пространства (2020) удалось сформировать

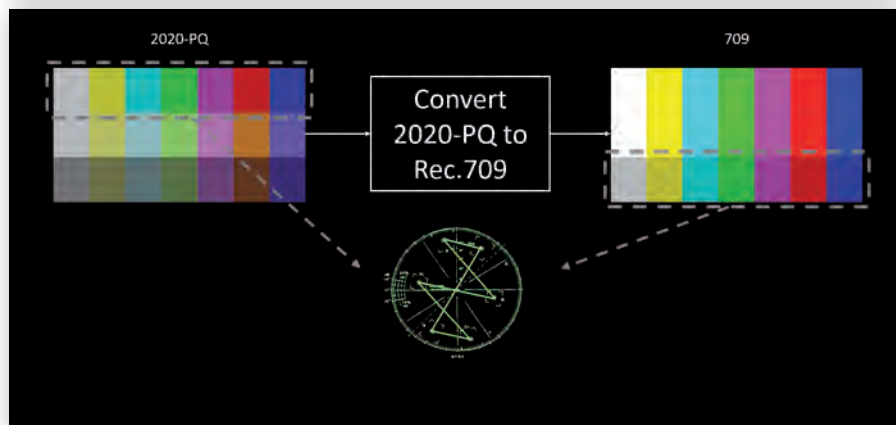


Рис. 13. Цветные полосы, конвертированные из пространств Rec. 2020, P3 и Rec. 709, отображаемые вместе в контейнере Rec. 2020, что позволяет верифицировать преобразование цветового пространства, используя стандартный вектороскоп

Logocam
V-Pack 160

 РАЗРЕШЕНО К АВИАПЕРЕВОЗКЕ
 ЯПОНСКИЕ СЕЛЛЫ
 РАБОТАЕТ В ХОЛОД
www.proland.ru

удобный способ верификации преобразований цветового пространства из 2020 (рис. 13).

В комплект Color Space and Monitor входит много испытательных таблиц. В таблице справа приведены некоторые из них.

Заключение

Видеосистемы, поддерживающие расширенный динамический диапазон (HDR) и широкую цветовую гамму (WCG) вызывают существенные проблемы и открывают большие возможности для испытаний. Так, нельзя ожидать, что мониторы смогут отображать полный спектр значений, принимаемых сигналом. Здесь был описан ряд испытательных таблиц, которые будут полезны, поскольку отрасль переходит от мира одной гаммы и ограниченного динамического диапазона к миру, где используются разные гаммы и расширенный динамический диапазон.

Благодарность

Многие специалисты отрасли внесли важный вклад в разработку упомянутых таблиц. В частности, это Роб Богарт (Rod Bogart), Ларс Борг (Lars Borg), Энни Ченг (Annie Chang), Джон Хо (John Ho), Аркадий Копанский (Arkady Kopansky), Говард Люк (Howard Lukk), Билл Миллер (Bill Miller), Чарльз Пойнтон (Charles Poynton), Пит Патмэн (Pete Putman), Жаклин Питларз (Jaclyn Pytlarz), Гленн Райтмайер (Glenn Reitmeier), Крис Сигер (Chris Seeger), Энди Шулер (Andy Schuler), Крейг Тод (Craig Todd), Мерил Вайс (Merrill Weiss) и многие другие.

Источники

R. N. Hurst, «*I Can See Clearly Now: A New Test Pattern for the Digital Age*», J. SMPTE, October 2011.

SMPTE ST-303M, «*Color Reference Pattern*», Archived 2010.

SMPTE RP-177M, «*Derivation of Basic Television Color Equations*», Archived 2010.

Robert Norman Hurst, U.S. Patent No. 9 083 943, «*Method for generating test patterns for detecting and quantifying losses in video equipment*», Jul 14, 2015.

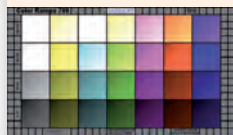
Некоторые из таблиц, включенные в комплект Color Space and Monitor (CSM)



Multispace – лица, таблица Macbeth Chart и Лестница Иакова, визуализированные в восьми цветовых пространствах: ACESproxy, PQ/2020, HLG/2020, S-Log3, 709, 2020/1886, P3/D65, P3. Доступны и другие цветовые пространства.



Лестница Иакова – 103 калиброванных оттенка, охватывающие 8 декад яркости из расчета 13 оттенков на декаду. Показывает наложение и отсечку. Полоса каждой декады содержит восходящий оттенок, чтобы легче было верифицировать наиболее темный видимый уровень.



Цветные рампы – 28 вращающихся градиентов 7 цветов, охватывающие яркость 0...15, 15...60, 60...240 и 240...960 кд/м². Серый фон содержит шум для испытания кодеров. Выявляет проблемы квантизации мониторов и систем.



Условные значения (темные) – 10-разрядные маркированные нейтральные полосы, охватывающие условные значения 0...127. Позволяет выявлять интерпретацию условных значений в полном или ограниченном SMPTE диапазоне. Четко показывает группы из четырех полос при преобразовании в 8-разрядную версию.



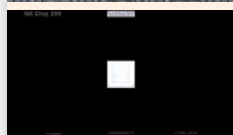
Dark Moons (контраст улучшен для печати) contrast enhanced here for printing) – вращающиеся слабые градиенты, каждый из которых начинается с 0 кд/м² и растет до обозначенного значения ниже 100 кд/м². Показывает, насколько хорошо мониторы выходят из черного.



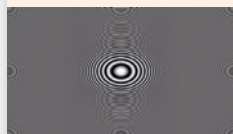
Dark Chips – 10 мигающих квадратов на черном фоне. Показывает наименьший шаг от черного, видимый на данном мониторе в данных условиях просмотра.



Color Chips – таблица прямоугольников ST-303M Macbeth. Содержит полосу Triple Gamut, состоящую из насыщенных цветов в трех цветовых пространствах, а также набор кривых яркости. Используется для верификации корректности преобразования или интерпретации цветового пространства.



Nit Chips – набор из 12 малых квадратов эталонной яркости. Полезна при быстрой оценке яркости монитора и отображения им оттенков.



Zone Plate – двухкоординатные частотные характеристики значений яркости. Показывают качество масштабирования изображения и преобразования его разрешения.



Pixel Strips – чередующиеся ряды черных и белых линий (черная/белая/черная/белая), а также цветных линий (красная/зеленая/красная/зеленая). Показывает, является ли цветовое разрешение монитора настолько же хорошим, как его черно-белое разрешение. Также позволит проверить соответствие гаммы и цветовой матрицы Y'CC.



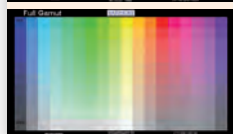
Triple Color Bars – полосы из 2020, P3 и 709 в контейнере 2020. Позволяет верифицировать преобразование цветового пространства, используя вектороскоп.



Triple Gamut – 18 цветовых сэмплов вокруг границы каждой из трех гамм с выводом на экран значений xY для каждого цвета. Масштабирована до 100 кд/м² во избежание обесцвечивания.



Inter-Gamut – верхний ряд представляет цвета гаммы 2020, а нижний – гаммы 709. Промежуточные цвета равномерно распределены (по x,y) между цветовыми парами.



Full Gamut – верхний ряд представляет цвета гаммы 2020, а нижний – нейтральный D65. Промежуточные цвета равномерно распределены (по x,y) между каждым цветом 2020 и D65.