

## ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ МЕТРОЛОГІЇ, ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

УДК 621.397

О. В. ГОФАЙЗЕН, В. В. ПИЛЯВСКИЙ

Одесская национальная академия связи им. А. С. Попова  
ГП “Украинский научно-исследовательский институт радио и телевидения”

### ЗАДАЧИ ТВ КОЛОРИМЕТРИИ

*Представлен анализ задач ТВ колориметрии как отрасли науки и технологий, направленной на построение ТВ систем и управление качеством их работы в части обеспечения максимально точной цветопередачи.*

*Предлагается вариант определения ТВ колориметрии, который мог бы быть принят исходя из двух основных задач:*

*- определения параметров и алгоритмов работы ТВ систем, обеспечивающих достижимую область передаваемых и воспроизводимых цветов:*

*- управления качеством цветопередачи и цветовоспроизведения, в том числе, оценки качества цветовоспроизведения в сквозном ТВ тракте “от света до света” и создания условий реализации достижимой верности цветовоспроизведения.*

*Дана оценка двух вариантов ТВ колориметрии в узком и широком смысле, в соответствии с которыми предметом колориметрического анализа является в первом случае цветопередача достаточно крупных деталей изображения без учёта его пространственной структуры, а во втором случае предметом анализа является оценка передачи цветных объектов сцены с учётом её пространственных характеристик, т.е. с учётом механизмов пространственной фильтрации, присущей механизмам цветного зрения.*

*Подчёркивается, что суждение о верности цветопередачи должно осуществляться с точки зрения наблюдателя, а это означает, что оценка должна осуществляться для сквозного тракта ТВ системы “от света до света”. Дана оценка равноконтрастных цветных пространств, которые могли бы использоваться для количественной оценки верности цветовоспроизведения, и соответственно, современных моделей цветовосприятия, которые могли бы быть использованы для колориметрической оценки качества в узком и широком смысле.*

*Рассматривается проблема учёта спектральных характеристик цветовосприятия в соответствии с моделями МКО 1931 г. и МКО 2006 г. Обсуждается возможный вариант согласованного использования этих моделей применительно к действующим и новым ТВ приложениям.*

*Обсуждается проблема оценки области цветов, передаваемых и воспроизводимых ТВ системами. Обсуждается возможность такой оценки на разных уровнях колориметрических оценок.*

*Ключевые слова: цветопередача, модель цветовосприятия, сквозной видеотракт “от света до света”, область передаваемых и воспроизводимых цветов, равноконтрастное цветовое пространство, ТВ колориметрия, удельные координаты цветов, CIECAM02, CAM02-USC, iCAM, iCAM06*

O. GOFÄIZEN, V. Pilyavskii

Одесская национальная академия связи им. А. С. Попова  
ГП “Украинский научно-исследовательский институт радио и телевидения”

### TELEVISION COLORIMETRY CHALLENGES

*The analysis of challenges of TV colorimetry as a branch of science and technology, aimed for building TV systems and management quality of their work in terms of ensuring the most accurate color rendition.*

*The variant definition TV colorimetry is proposed, which could be adopted on the basis of two main tasks:*

*- Determination of TV systems parameters and algorithms providing reachable transmitted and reproduced color gamut:*

*- Quality management of color transmission and color reproduction, including the assessment of the quality of color reproduction in a through light-to-light TV path, and the provision of conditions for implementation the achievable color fidelity.*

*The evaluation of the two options of TV colorimetry in the narrow and broad sense, in accordance with which the subject of a colorimetric analysis in the first case is rendition fairly large image parts without taking into account its spatial structure, and in the second case, the subject of the analysis is evaluation the transmission of color scene objects taking into account their spatial characteristics, i.e., taking into account the mechanisms of spatial filtering inherent to mechanisms of color vision.*

*It is emphasized that the judgment on color fidelity should be from the point of view of the observer, which means that the assessment should be carried out for through light-to-light- TV system path. The evaluation of uniform color spaces that could be used for quantitative assessment of fidelity of color rendition, and accordingly, current models of color which could be used for the colorimetric evaluation of quality in the narrow and broad sense.*

*The problem of consideration the spectral color perception characteristics in accordance with the models of the CIE 1931 and CIE 2006. A possible variant of the agreed use of these models in relation to existing and new TV applications is considered.*

*The problem of estimation of the color gamut, transmission and reproduced by TV systems is discussed. The possibility of such an assessment at different levels of colorimetry evaluations is analyzed.*

*Key words: CIECAM02, CAM02-USC, iCAM, iCAM06, color appearance model, color fidelity, transmitted and reproduced color gamut, CMFs, color rendering, end-to-end video path, TV colorimetry, uniform color space*

### ВВЕДЕНИЕ

На протяжении ряда лет Исследовательская комиссия (ИК) 6 Сектора радиосвязи Международного союза электросвязи (МСЭ-Р) ведёт разработку проекта международного Справочника МСЭ “ТВ колориметрия” по решению Рабочей группы (РГ) 6Р [1] по плану, принятому РГ 6J [2]. В настоящее время эту работу осуществляет РГ 6С. Разработка проводится по инициативе Украины и на основе исследований в области ТВ колориметрии, проводимых в Украине.

Эта разработка оказалась сложной и многоплановой, и стало ясно, что на эту разработку и соответствующую международную дискуссию потребуются ещё значительные усилия. Поэтому РГ 6С в качестве оперативного действия приняла решение [3] о разработке проекта отчёта, содержание которого базируется на той же информационной базе, что и содержание проекта справочника. При этом предполагается, что разработка отчёта может быть осуществлена за более короткое время.

Данная работа посвящена анализу проблемных вопросов, возникших в процессе разработки этих документов, данные которого могут быть использованы на последующих этапах их разработки, а также в любых исследованиях в области ТВ колориметрии.

### **ВОЗМОЖНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОНЯТИЯ “ТВ КОЛОРИМЕТРИЯ”**

В международных документах содержатся следующие определения, относящиеся к понятию “ТВ колориметрия”.

В главе 845 “Освещение” Международного электротехнического словаря [4] дано определение термина “колориметрия” (определение 845-05-10):

“Измерение цвета, выполняемое в соответствии с принятой системой правил”.

В главе 723 “Вещание: звуковое, телевизионное, данных” Международного электротехнического словаря [5] дано определение понятия “колориметрическая система” (определение 723-08-41):

“Группа из трёх основных цветов и опорного белого цвета”.

В других источниках (например, <http://en.wikipedia.org/wiki/Colorimetry> [6]):

“Наука и технология, используемые для количественного определения и физического описания человеческого восприятия цветов”.

Опираясь на эти определения а также на использование термина “колориметрия” в документах МСЭ-Р, для понятия “ТВ колориметрия” может быть предложено определение:

“Раздел науки и технологии, относящийся к определению колориметрической системы и соответствующих характеристик ТВ систем и оценке верности цветопередачи в телевидении”.

Отсюда следует, что задачи ТВ колориметрии могут быть определены как:

- Определение основных характеристик ТВ систем, базирующееся на выборе колориметрической системы и на преобразованиях сигналов, влияющих на цветопередачу.
- Оценка верности цветопередачи, с учётом имеющих место ограничений и упрощений.

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОНЯТИЯ “ТВ КОЛОРИМЕТРИЯ” В УЗКОМ И ШИРОКОМ СМЫСЛЕ**

Понятие “ТВ колориметрия” в узком (классическом) смысле может быть связано с цветопередачей без учёта пространственных свойств изображения и его восприятия. В рамках этого определения характеристики телевизионной системы рассматриваются только с точки зрения цветопередачи крупных деталей сцены и характеристик передачи яркостных полутонов.

Такой подход является ограниченным, т.к. при этом не учитываются пространственные характеристики передачи изображения и человеческого восприятия, зато оценка цветопередачи является достаточно общей независимо от пространственных свойств изображения.

Понятие “ТВ колориметрия” в широком смысле, т.е. с учётом пространственных свойств изображения и его восприятия, выходит за пределы классического определения колориметрии, т.к. модель зрительного восприятия в этом случае не ограничивается моделью цветовосприятия, а скорее это модель восприятия изображения, воплощающая в себе свойства цветовосприятия совместно с пространственными характеристиками восприятия изображения.

Использование этого понятия, в частности, позволяет давать оценку

- верности цветопередачи реальных сцен, причём эта оценка будет индивидуальной для каждой конкретной сцены;
- искажений изображения, связанных с действием отдельных факторов, критичных по отношению к отдельным проявлениям искажений цветопередачи, в частности, дискретизацией цветоразностных сигналов, цветовых искажений переходов на изображении, связанных с невыполнением принципа постоянной яркости, возможных других видов искажений, связанных с различными алгоритмами обработки сигналов.

### **ВЕРНОСТЬ ЦВЕТОПЕРЕДАЧИ В СКВОЗНОМ ТРАКТЕ ТВ СИСТЕМЫ “ОТ СВЕТА ДО СВЕТА”**

Суждение о верности цветопередачи должно осуществляться с точки зрения наблюдателя, а это означает, что оценка должна осуществляться для сквозного тракта ТВ системы “от света до света”, т.е. речь идёт о сопоставлении цвета объектов передаваемой сцены и воспроизводимого изображения, которое может осуществляться путём сопоставления цветовых координат объекта сцены  $S_{10}, S_{20}, S_{30}$  и его изображения  $S_{1и}, S_{2и}, S_{3и}$  в равноконтрастном цветовом пространстве, которому присуща евклидова метрика.

Определяя расстояние между точками цветов в равноконтрастном цветовом пространстве и сопоставляя его с расстоянием, соответствующим границе цветоразрешения или уровням цветового различия, соответствующим заданным уровням качества изображения, можно количественно судить о качестве цветопередачи.

### **РАВНОКОНТРАСТНЫЕ ПРОСТРАНСТВА, КОТОРЫЕ МОГУТ ИСПОЛЬЗОВАТЬСЯ ДЛЯ**

**ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ЦВЕТОПЕРЕДАЧИ**

Если исходить из использования понятия “ТВ колориметрия” в узком смысле, т.е. осуществлять оценку качества цветопередачи объектов без учёта пространственных характеристик изображения и его восприятия, то тогда для оценки качества цветопередачи в ТВ системах к числу наиболее перспективных можно отнести системы равноконтрастных цветовых координат, определённые МКО: CIELUV ( $L^*, u^*, v^*$ ) [4], CIELAB ( $L^*, a^*, b^*$ ) [7], а также CIECAM02 ( $J, a_M, b_M$ ) [8] и её модификацию CAM02-UCS ( $J', a'_M, b'_M$ ) [9].

Метрика систем CIELUV и CIELAB построена без учёта влияния условий наблюдения изображения на воспринимаемые цвета объектов. В этих системах условия неискажённой цветопередачи формулируются как:

$$\begin{aligned} L_{\text{и}}^* &= L_{\text{о}}^*; & u_{\text{и}}^* &= u_{\text{о}}^*; & v_{\text{и}}^* &= v_{\text{о}}^*; \\ L_{\text{и}}^* &= L_{\text{о}}^*; & a_{\text{и}}^* &= a_{\text{о}}^*; & b_{\text{и}}^* &= b_{\text{о}}^*. \end{aligned}$$

Метрика пространства CAM02-UCS является надстройкой над системой CIECAM02 и зависит от яркости адаптации зрительной системы наблюдателя  $L_{\text{АО}}$  и  $L_{\text{АН}}$  и условий наблюдения  $V_{\text{CO}}$  и  $V_{\text{CI}}$  на стороне съёмки сцены и на стороне воспроизведения изображения, которые могут независимо варьироваться в широких пределах. Таким образом, в этой метрике условия неискажённой цветопередачи могут быть сформулированы следующим образом:

$$J'_{\text{и}} \Big|_{L_{\text{АН}}, V_{\text{CI}}} = J'_{\text{о}} \Big|_{L_{\text{АО}}, V_{\text{CO}}}; \quad a'_{M\text{и}} \Big|_{L_{\text{АН}}, V_{\text{CI}}} = a'_{M\text{о}} \Big|_{L_{\text{АО}}, V_{\text{CO}}}; \quad b'_{M\text{и}} \Big|_{L_{\text{АН}}, V_{\text{CI}}} = b'_{M\text{о}} \Big|_{L_{\text{АО}}, V_{\text{CO}}}.$$

Это означает, что неискажённая цветопередача может иметь место только в системах, адаптивных к условиям наблюдения, основные принципы построения которых определены в Рекомендациях ITU-RBT.1691 [10] и ITU-RBT.1692 [11]. В работе [12] приведены примеры оценки искажений цветопередачи и показано, что, в зависимости от соотношения яркости адаптации и условий наблюдения на передающей и приёмной сторонах, искажения цветопередачи могут варьироваться от незаметных до недопустимых.

Оценка верности цветовоспроизведения для систем с расширенным динамическим диапазоном (EDR – ExtendedDynamicRange) яркости, в том числе, видеотелевизионных систем, EDRTV систем и др., связана с использованием моделей цветовосприятия, охватывающих диапазон яркостей, в несколько раз превышающих яркость, равную  $1000 \text{ кд/м}^2$ , близкую к верхней границе диапазона яркостей, в котором действует модель CIECAM02 для фотопического зрения, а также яркостей, в которых действует мезопическое и скотопическое зрение. Для этих частей диапазона яркостей МКО пока не формализовала соответствующие модели, однако прогресс в этом направлении имеет место, и имеются предложения по моделям цветовосприятия, которые могут использоваться для количественных оценок [13–16]. Среди них к числу наиболее перспективных можно отнести модель iCAM06 [13, 14], использование которой для колориметрических оценок в узком смысле возможно, если не использовать преобразования, относящиеся к пространственным характеристикам модели.

Если исходить из использования понятия “ТВ колориметрия” в широком смысле, т.е. осуществлять оценку верности цветопередачи с учётом пространственных характеристик изображения и его восприятия, то тогда для оценки верности цветопередачи в ТВ системах к числу наиболее перспективных можно отнести модели iCAM [17] и iCAM06, являющиеся моделями цветного зрения нового поколения, на развитие которых и международную стандартизацию потребуются годы [18].

Тем не менее, использование этих моделей в исследованиях, посвящённых оценке верности цветопередачи современных и новых ТВ систем, может дать больший эффект, чем любые другие подходы, поскольку они воплощают достигнутый уровень мирового прогресса в этой области.

При этом формулирование условия неискажённой цветопередачи будет зависеть дополнительно от пространственных характеристик объекта.

**УЧЁТ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОСПРИЯТИЯ**

В настоящее время действуют две принятые МКО системы цветовых координат, которые могут быть использованы для любых приложений, в том числе, и для телевизионных:

- система МКО 1931 г. [19];
- система МКО 2006 г. [20].

Система МКО 2006 г. является более точно выражающей характеристики колбочкового аппарата человеческого зрения по сравнению с системой МКО 1931 г.

На систему МКО 1931 г. опираются практически все колориметрические стандарты и имеющиеся колориметрические данные, в том числе, телевизионные. Поэтому трудно представить, что в ближайшие годы эта система выйдет из употребления.

Тем не менее, с принятием системы МКО 2006 г. и стремлением получать более строгие колориметрические оценки и тем самым принимать более совершенные технические решения, в том числе, в области телевизионных приложений, переход к использованию этой системы является реальной тенденцией прогресса ТВ колориметрии.

Несовершенство системы МКО 1931 г. было обнаружено компанией Sony [22] при сопоставлении дисплеев на основе ЭЛТ и OLED-панелей, и было установлено, что могут иметь место заметные искажения цвета.

Учитывая прогресс ТВ систем, направленный на дальнейшее расширение возможностей ТВ технологий и повышение качества изображения, можно прогнозировать, что задача перехода к

использованию системы МКО 2006 г. будет реализовываться.

Для того, чтобы система МКО 2006 г. могла стать нормативной основой для нормативного обеспечения новых поколений ТВ систем, нужно было бы стандартизовать колориметрию старых ТВ систем в координатах системы МКО 2006 г., которые насколько можно точно соответствовали бы цветам, координаты которых определены в системе МКО 1931 г., что возможно только для определённого спектрального состава свечения экранов (напр., взяв за основу спектральные характеристики OLED-панелей), который для этой цели следовало бы стандартизовать. При этом была бы строго стандартизована колориметрия систем для случая использования новых воспроизводящих панелей при условии приближённого использования колориметрии старых воспроизводящих устройств.

При этом возникает также задача создания модифицированных версий действующих систем CIELUV, CIELAB та CIECAM02, а также новых перспективных систем, таких, как iCAM та iCAM06, которые должны опираться на использование цветовых координат системы МКО 2006 г., что соответствовало бы повышению строгости колориметрических оценок.

### **ОЦЕНКА ОБЛАСТИ ЦВЕТОВ, ПЕРЕДАВАЕМЫХИ ВОСПРОИЗВОДИМЫХТВ СИСТЕМАМИ**

Область передаваемых цветов является характеристикой ТВ системы, определяющей границы, в которых возможна цветопередача. В Отчёте МСЭ-Р ВТ.2246-2 [22] представлены возможные способы расширения области цветов, которые могут быть переданы ТВ системой. Характеристика области передаваемых и воспроизводимых цветов может быть дана на различных уровнях:

- если требуется охарактеризовать возможность цветопередачи без учёта реальной метрики цветовосприятия, для этого достаточно использовать систему МКО-31 или МКО-60, в этом случае область передаваемых и воспроизводимых цветов будет охарактеризована качественно, но не количественно, поскольку цветовое пространство этих систем является неравномерным по отношению к человеческому восприятию;

- если требуется учесть метрику человеческого восприятия, но абстрагироваться от учёта условий восприятия, могут использоваться равноконтрастные системы, принятые МКО в 1976 г. – CIELUV и CIELAB, но при этом оценки не будут отражать реальные условия цветовосприятия, т.е. изменение области воспринимаемых цветов с изменением условий восприятия изображения наблюдателем;

- если требуется учесть метрику человеческого восприятия с учётом условий восприятия, то станет возможным оценивать и сопоставлять области передаваемых и воспроизводимых цветов с учётом условий цветовосприятия на передающей и приёмной сторонах, а значит, судить не только о сдвигах отдельных цветов, но и об изменении всей области цветов, доступных наблюдателю, за счёт изменения соотношения между условиями наблюдения в точках съёмки сцены и её воспроизведения.

Примеры соответствующих оценок представлены в работах [23, 24].

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1. Определения понятия телевизионной колориметрии является составным, поскольку оно определяет использование раздела науки и технологий, реализуемого применительно к колориметрическим характеристикам ТВ систем и их оценке. Предложенное в настоящей статье определение возможно использовать в качестве рабочего, но в любом случае оно вопрошает в себе сочетание двух задач – построения ТВ систем и оценки верности цветопередачи в сквозном видеотракте “от света до света”. Видимо из этого определения целесообразно исходить при разработке любых документов, имеющих отношение к колориметрическим аспектам телевидения.

2. При решении вопросов описания или стандартизации колориметрических характеристик ТВ систем и родственных видеоприложений нужно исходить из того, в каком смысле требуется использовать колориметрию – только применительно к характеристикам передачи цветов крупных деталей сцены или также применительно к цветовым искажениям, зависящим от пространственной структуры изображения, связанным с принципами построения и реализации ТВ систем, например, систем, в которых выполняется или не выполняется принцип постоянной яркости, систем, в которых используется дискретизация цветоразностных сигналов, и др. Соответственно, при решении вопросов подготовки отчётов, справочников и других документов, посвящённых колориметрии ТВ систем, следует определиться, в каком соотношении следует использовать колориметрию в узком или широком смысле.

3. Количественная оценка верности цветопередачи в ТВ системах возможна только при условии использования равноконтрастного цветового пространства, обладающего евклидовой метрикой. Чем ближе метрика к евклидовой, чем совершеннее будет оценка качества цветопередачи. Известные в настоящее время равноконтрастные цветовые пространства воплощают различные уровни интерпретации имеющихся в мире экспериментальных данных, и их использование может осуществляться на уровне компромисса между их доступностью и универсальностью, степенью соответствия имеющимся экспериментальным данным о характеристиках цветовосприятия для варьируемых в широких пределах условий восприятия изображения, применимостью к изображениям со сложной структурой и возможным варьируемым диапазоном изменения яркости.

4. Если принять за основу оценку цветовоспроизведения без учёта условий восприятия изображения, то для этой цели можно использовать, например, модели цветовосприятия CIELUV и CIELAB. Эти модели относительно просты, широко используются в мире применительно к различным приложениям, в том числе, к телевизионным, однако они неточно отображают свойства цветовосприятия и относятся к фиксированным условиям восприятия, в которых были получены экспериментальные данные, положенные в

основу этих систем. Тем не менее, отсутствие учёта условий восприятия позволяет использовать эти модели как более универсальные путём компромисса в отношении ограниченной точности.

5. Использование модели CIECAM02 совместно с надстройкой CAM02-UCS позволяет оценивать верность цветопередачи с максимальной доступной в настоящее время точностью, учитывая, что эта модель опирается на современное знание механизмов зрительного восприятия и на объём экспериментальных данных, доступных в настоящее время. Эта модель учитывает условия адаптации зрительного восприятия и потому может использоваться как для построения адаптивных приложений, так и для более точной оценки верности цветопередачи. Но при этом оценка верности цветопередачи должна осуществляться для заданных условий адаптации, что в ряде случаев приведёт к увеличению объёма оценок. При этом использование возможностей адаптации к условиям восприятия может привести к новому уровню качества цветовоспроизведения.

6. С внедрением ТВ систем со сверхвысоким динамическим диапазоном изменения яркости задача оценки верности цветовоспроизведения должна опираться на модели цветовосприятия, опирающиеся на описание механизмов восприятия и экспериментальные данные, охватывающие этот диапазон. К числу таких моделей можно отнести, например, модель iCAM06, которая, несмотря на необходимость дальнейших исследований в этой области, воплощает современный уровень знаний о цветовосприятии в диапазоне яркостей, охватывающем диапазоны фотопического, мезопического и скотопического зрения, и её использование позволило бы оценивать качество цветопередачи во всём диапазоне яркостей, на который могут быть рассчитаны подобные системы. При этом представляется, что оценку верности цветопередачи целесообразно было бы осуществлять как в целом, так и отдельно для традиционных уровней яркости, для очень малых и для очень больших яркостей. Следует отметить, что эта модель является развитием модели CIECAM02, и потому она является адаптивной и обладает всеми возможностями, присущими модели CIECAM02. Эта модель построена с учётом как колориметрических, так и пространственных свойств восприятия, и потому является универсальной с точки зрения использования колориметрии как в узком, так и в широком смысле.

7. Для того, чтобы система МКО 2006 г. могла стать нормативной основой для нормативного обеспечения новых поколений ТВ систем, нужно было бы стандартизировать колориметрию старых ТВ систем в координатах системы МКО 2006 г., которые насколько можно точно соответствовали бы цветам, координаты которых определены в системе МКО 1931 г., что возможно только для определённого спектрального состава свечения экранов (напр., взяв за основу спектральные характеристики OLED-панелей), который для этой цели следовало бы стандартизировать. При этом была бы строго стандартизована колориметрия систем для случая использования новых воспроизводящих панелей при условии приближённого использования колориметрии старых воспроизводящих устройств. При этом возникает также задача создания модифицированных версий действующих систем CIELUV, CIELAB та CIECAM02, а также новых перспективных систем, таких, как iCAM та iCAM06, которые должны опираться на использование цветовых координат системы МКО 2006 г., что соответствовало бы повышению строгости колориметрических оценок.

8. Область цветов которые могут передаваться и воспроизводиться ТВ системами определяется прежде всего ограничениями, связанными с выбором колориметрической системы передающей и приёмной стороны. Если цифровая обработка сигнала не приводит к ограничению этой области, то область передаваемых и воспроизводимых цветов будет пересечением областей, определённых для передающей и приёмной сторон. Представление области передаваемых цветов в равноконтрастном цветовом пространстве позволит судить о том, насколько мы можем реализовать в ТВ системе возможности цветопередачи с точки зрения наблюдателя, что весьма важно, учитывая, что метрика равноконтрастного цветового пространства существенно нелинейна по отношению к традиционной используемой системе XYZ или сигнальному пространству RGB. Представление области передаваемых и воспроизводимых цветов в пространстве является проблемой, поскольку в трехмерном пространстве представление о области цветов будет цельным, но очень трудно о нем судить количественно, а представление в виде проекций позволяет наблюдать закономерности, но в более громоздком виде, по-видимому компромисс в этом отношении дело будущего.

## Литература

1. ITU-R Chairman, Working Party 6P Report on the Fourth Meeting of Working Party 6P / ITU-R Chairman, Working Party 6P.– Document 6P/175-E. – 23 November.– 2005
2. ITU-R Annex 5 to Working Party 6J Co-Chairman’s Report Proposed Plan of the Handbook “Television Colorimetry” / ITU-R Annex 5 to Working Party 6J. – Annex 5 to Document 6J/36-E. – 7 April. – 2006
3. ITU-R Annex 12 to Working Party 6C Chairman’s Report Appointment of a Rapporteur to Prepare a Preliminary Draft New Report on Elements of Colorimetry / ITU-R Annex 12 to Working Party 6C Chairman’s Report. – Annex 12 to Document 6C/257-E. – 6 December. – 2013
4. IEC 60050(845) International Lightning Vocabulary. Chapter 845: Lighting / IEC 60050(845). – Switzerland: Geneve. – 1987
5. IEC 60050(723) International Electrotechnical Vocabulary. Chapter 723: Broadcasting: Sound, Television, Data / IEC 60050(723). – Switzerland: Geneve. – 1997
6. “Colorimetry.” Wikipedia. <<http://en.wikipedia.org/wiki/Colorimetry>>
7. CIE Supplement No.2 to Publication No.15 Recommendation on uniform colour space, colour difference equations, and psychometric terms / CIE Supplement No.2 to Publication No.15. – 1978
8. CIE A Colour Appearance Model for Color Management Systems: CIECAM02 / CIE TC8-01 Technical Report. – CIE Pub. No. 159. – 2004

9. Luo M. Ronnier CIE Colour Appearance Models and Associated Color Spaces / M. Ronnier Luo, C. L. Li // *Colorimetry: Understanding the CIE System*. – 2007. – p.261-294
10. Recommendation ITU-R BT.1691-1 Adaptive Image Quality Control in Digital Television Systems. – Geneva: ITU-R. – 2009
11. Recommendation ITU-R BT.1692-1 Optimization of the quality of colour reproduction in digital television. – Geneva: ITU-R. – 2009
12. Gofaizen, O. V., and V. V. Pilyavskiy. “TV image colour appearance characteristics: Perception adaptive properties.” *Digital technologies*10 (2011): 86-105.
13. Kuang J. iCAM06: A refined image appearance model for HDR image rendering / J. Kuang, Garrett M. Johnson, Mark D. Fairchild // *Journal of Visual Communication and Image Representation* 18.5. – 2007. – p. 406-414
14. Kuang J. iCAM06, HDR, and image appearance / J. Kuang, Mark D. Fairchild // “Color and Imaging Conference. Vol. 2007. – No. 1
15. Rezagholizadeh M. Maximum Entropy Spectral Modeling Approach to Mesopic Tone Mapping / M. Rezagholizadeh, J. Clark James // *Color and Imaging Conference*. – Vol. 2013. – No. 1. – Society for Imaging Science and Technology, 2013
16. Kim Min H. Modeling human color perception under extended luminance levels / Min H. Kim, W. Tim, Kautz Jan // *ACM Transactions on Graphics (TOG)*. – Vol. 28. – No. 3. – ACM 2009
17. Mark D. Fairchild iCAM framework for image appearance, differences, and quality / Mark D. Fairchild, M. Johnson Garrett // *Journal of Electronic Imaging*13.1. – 2004. – p. 126-138
18. Mark D. Fairchild Color Appearance Models. 3rd ed. Rochester, USA: IS&T. – 2013
19. CIE Proceeding 1931 Cambridge University Press. – Cambridge 1932. – P. 19
20. CIE Functions<<http://www.cvrl.org/ciepr.htm>>
21. Colour Matching Between OLED and CRT / Sony Corporation. – Tech. V. 1.0. – 2013
22. Report ITU-R BT.2246-3:2014 The present state of ultra-high definition television
23. Гофайзен О. В. Область кольорів, передаваних системами цифрового телебачення / О. В. Гофайзен, В. В. Пилявський // *Цифрові технології*. – 2012. – Вип. 11. – С. 47-70
24. Гофайзен О. В. Use of multi-primary reproduction of TV images produced by SDTV, HDTV and UHD TV systems / О. В. Гофайзен, В. В. Пилявський, А. А. Козарезнюк // *Цифрові технології*. – 2013. – Вип. 13. – С. 63–74

## References

1. ITU-R Chairman, Working Party 6P Report on the Fourth Meeting of Working Party 6P / ITU-R Chairman, Working Party 6P. – Document 6P/175-E. – 23 November. – 2005
2. ITU-R Annex 5 to Working Party 6J Co-Chairman’s Report Proposed Plan of the Handbook “Television Colorimetry” / ITU-R Annex 5 to Working Party 6J. – Annex 5 to Document 6J/36-E. – 7 April. – 2006
3. ITU-R Annex 12 to Working Party 6C Chairman’s Report Appointment of a Rapporteur to Prepare a Preliminary Draft New Report on Elements of Colorimetry / ITU-R Annex 12 to Working Party 6C Chairman’s Report. – Annex 12 to Document 6C/257-E. – 6 December. – 2013
4. IEC 60050(845) International Lightning Vocabulary. Chapter 845: Lighting / IEC 60050(845). – Switzerland: Geneve. – 1987
5. IEC 60050(723) International Electrotechnical Vocabulary. Chapter 723: Broadcasting: Sound, Television, Data / IEC 60050(723). – Switzerland: Geneve. – 1997
6. “Colorimetry.” Wikipedia. <<http://en.wikipedia.org/wiki/Colorimetry>>
7. CIE Supplement No.2 to Publication No.15 Recommendation on uniform colour space, colour difference equations, and psychometric terms / CIE Supplement No.2 to Publication No.15. – 1978
8. CIE A Colour Appearance Model for Color Management Systems: CIECAM02 / CIE TC8-01 Technical Report. – CIE Pub. No. 159. – 2004
9. Luo M. Ronnier CIE Colour Appearance Models and Associated Color Spaces / M. Ronnier Luo, C. L. Li // *Colorimetry: Understanding the CIE System*. – 2007. – p.261-294
10. Recommendation ITU-R BT.1691-1 Adaptive Image Quality Control in Digital Television Systems. – Geneva: ITU-R. – 2009
11. Recommendation ITU-R BT.1692-1 Optimization of the quality of colour reproduction in digital television. – Geneva: ITU-R. – 2009
12. Gofaizen, O. V., and V. V. Pilyavskiy. “TV image colour appearance characteristics: Perception adaptive properties.” *Digital technologies*10 (2011): 86-105.
13. Kuang J. iCAM06: A refined image appearance model for HDR image rendering / J. Kuang, Garrett M. Johnson, Mark D. Fairchild // *Journal of Visual Communication and Image Representation* 18.5. – 2007. – p. 406-414
14. Kuang J. iCAM06, HDR, and image appearance / J. Kuang, Mark D. Fairchild // “Color and Imaging Conference. Vol. 2007. – No. 1
15. Rezagholizadeh M. Maximum Entropy Spectral Modeling Approach to Mesopic Tone Mapping / M. Rezagholizadeh, J. Clark James // *Color and Imaging Conference*. – Vol. 2013. – No. 1. – Society for Imaging Science and Technology, 2013
16. Kim Min H. Modeling human color perception under extended luminance levels / Min H. Kim, W. Tim, Kautz Jan // *ACM Transactions on Graphics (TOG)*. – Vol. 28. – No. 3. – ACM 2009
17. Mark D. Fairchild iCAM framework for image appearance, differences, and quality / Mark D. Fairchild, M. Johnson Garrett // *Journal of Electronic Imaging*13.1. – 2004. – p. 126-138
18. Mark D. Fairchild Color Appearance Models. 3rd ed. Rochester, USA: IS&T. – 2013
19. CIE Proceeding 1931 Cambridge University Press. – Cambridge 1932. – P. 19
20. CIE Functions<<http://www.cvrl.org/ciepr.htm>>
21. Colour Matching Between OLED and CRT / Sony Corporation. – Tech. V. 1.0. – 2013
22. Report ITU-R BT.2246-3:2014 The present state of ultra-high definition television
23. Gofaizen O.V., Pilyavskiy V.V. Digital television systems colour gamut // *Digital Technologies*. – 2012. – No. 11. – P. 47-70
24. Gofaizen O.V., Pilyavskiy V.V., Kozareznyuk A.A. Use of multi-primary reproduction of TV images produced by SDTV, HDTV and UHD TV systems // *Digital Technologies*. – 2013. – No. 13. – P. 63–74

Рецензія/Peer review : 13.1.2015 р.

Надрукована/Printed :23.1.2015 р.

Стаття рецензована редакційною колегією