الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصية ITU-R BT.2087-0
(2015/10)

تحويل الألوان من التوصية ITU-R BT.709 إلى التوصية ITU-R BT.2020

السلسلة BT
الخدمة الإذاعية (التلفزيونية)

الاتحاد الدولي للاتصالات ITU

تمهيد

يضطلع قطاع الاتصالات الراديوية بدور يتمثل في تأمين الترشيد والإنصاف والفعالية والاقتصاد في استعمال طيف الترددات الراديوية في جميع خدمات الاتصالات الراديوية، بما فيها الخدمات الساتلية، وإجراء دراسات دون تحديد لمدى الترددات، تكون أساساً لإعداد التوصيات واعتمادها.

ويؤدي قطاع الاتصالات الراديوية وظائفه التنظيمية والسياساتية من خلال المؤتمرات العالمية والإقليمية للاتصالات الراديوية وجمعيات الاتصالات الراديوية بمساعدة لجان الدراسات.

سياسة قطاع الاتصالات الراديوية بشأن حقوق الملكية الفكرية (IPR)

يرد وصف للسياسة التي يتبعها قطاع الاتصالات الراديوية فيما يتعلق بحقوق الملكية الفكرية في سياسة البراءات المشتركة بين قطاع تقييس الاتصالات وقطاع الاتصالات الراديوية والمنظمة الدولية للتوحيد القياسي واللجنة الكهرتقنية الدولية (ITU-T/ITU-R/ISO/IEC) والمشار إليها في الملحق 1 بالقرار ITU-R 1. وترد الاستمارات التي ينبغي لحاملي البراءات استعمالها لتقديم بيان عن البراءات أو للتصريح عن منح رخص في الموقع الإلكتروني http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en حيث يمكن أيضاً الاطلاع على المبادئ التوجيهية الخاصة بتطبيق سياسة البراءات المشتركة وعلى قاعدة بيانات قطاع الاتصالات الراديوية التي تتضمن معلومات عن البراءات.

سلاسل توصيات قطاع الاتصالات الراديوية

(يمكن الاطلاع عليها أيضاً في الموقع الإلكتروني http://www.itu.int/publ/R-REC/en)

السلسلة	العنوان
BO	البث الساتلي
BR	التسجيل من أجل الإنتاج والأرشفة والعرض؛ الأفلام التلفزيونية
BS	الخدمة الإذاعية (الصوتية)
BT	**الخدمة الإذاعية (التلفزيونية)**
F	الخدمة الثابتة
M	الخدمة المتنقلة وخدمة الاستدلال الراديوي وخدمة الهواة والخدمات الساتلية ذات الصلة
P	انتشار الموجات الراديوية
RA	علم الفلك الراديوي
RS	أنظمة الاستشعار عن بُعد
S	الخدمة الثابتة الساتلية
SA	التطبيقات الفضائية والأرصاد الجوية
SF	تقاسم الترددات والتنسيق بين أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية والخدمة الثابتة
SM	إدارة الطيف
SNG	التجميع الساتلي للأخبار
TF	إرسالات الترددات المعيارية وإشارات التوقيت
V	المفردات والمواضيع ذات الصلة

ملاحظة: *تمت الموافقة على النسخة الإنكليزية لهذه التوصية الصادرة عن قطاع الاتصالات الراديوية بموجب الإجراء الموضح في القرار ITU-R 1.*

النشر الإلكتروني
جنيف، 2017

© ITU 2017
جميع حقوق النشر محفوظة. لا يمكن استنساخ أي جزء من هذه المنشورة بأي شكل كان ولا بأي وسيلة إلا بإذن خطي من الاتحاد الدولي للاتصالات (ITU).

التوصية ITU-R BT.2087-0

تحويل الألوان من التوصية ITU-R BT.709 إلى التوصية ITU-R BT.2020

(2015)

مجال التطبيق

تتناول هذه التوصية تحويل الألوان من التوصية ITU-R BT.709 إلى التوصية ITU-R BT.2020 لاستعمالها عند إدراج محتوى برامج التلفزيون العالي الوضوح (HDTV) في برامج التلفزيون الفائق الوضوح (UHDTV). وترد في النص مجموعتان من معادلات التحويل. تستند مجموعة منهما إلى دالة التحويل البصري–الإلكتروني (OETF) ومعكوسها. وتستند المجموعة الأخرى إلى دالة التحويل الكهربي–البصري (EOTF) ومعكوسها.

مصطلحات أساسية

التلفزيون فائق الوضوح، تحويل الألوان

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) أن التوصية ITU-R BT.2020 – قيم معلمات أنظمة التلفزيون فائق الوضوح لإنتاج البرامج وتبادلها دولياً، تحدد قيم معلمات أنظمة الصورة للتلفزيون فائق الوضوح، وأن من بين سمات التلفزيون فائق الوضوح أن سلم الألوان الخاص به أعرض من التلفزيون عالي الوضوح الموصف في التوصية ITU-R BT.709؛

ب) أن هناك عدداً متزايداً من هيئات الإذاعة التلفزيونية ومنتجي البرامج حول العالم بدأوا في إنتاج برامج للتلفزيون فائق الوضوح؛

ج) أن برامج التلفزيون عالي الوضوح يمكن استخدامها بشكلٍ جيد في إنتاج برامج التلفزيون فائق الوضوح وهو ما يتطلب تحويل الألوان من التوصية ITU-R BT.709 إلى التوصية ITU-R BT.2020؛

د) أن من الضروري الإبقاء على ألوان محتوى التوصية ITU-R BT.709 كما هي بدون تغيير عن طريق تحويل ألوان التوصية ITU-R BT.2020 وأنه ينبغي لطريقة التحويل أن تكون قابلة للتعريف رياضياً،

توصي

1 بأن تستخدم الطريقة الموصوفة في الملحق 1 عند الحاجة إلى تحويل الألوان من التوصية ITU-R BT.709 إلى التوصية ITU-R BT.2020 من أجل إنتاج برامج التلفزيون فائق الوضوح وتبادلها دولياً.

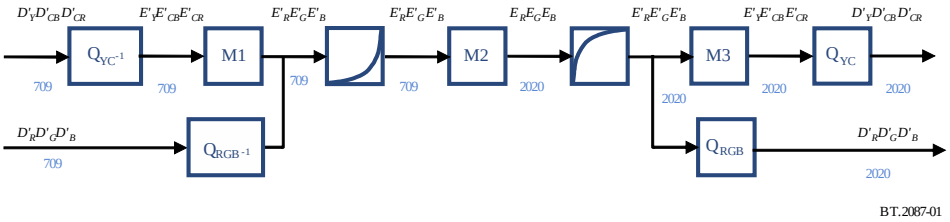
الملحق 1

طريقة تحويل الألوان من التوصية ITU-R BT.709 إلى التوصية ITU-R BT.2020

يعرض الشكل 1 تحويل الألوان من التوصية ITU-R BT.709 (التوصية 709) إلى نسق إشارة النصوع غير الثابت الوارد في الجدول 4 من التوصية ITU-R BT.2020 (التوصية 2020). ودخل هذا الشكل وخرجه عبارة عن إشارات $Y'C'_BC'_R$ أو $R'G'B'$ ممثلة رقمياً.

الشكل 1

مخطط وظيفي لتحويل الألوان من الإشارات $Y'C'_BC'_R$ أو $R'G'B'$ للتوصية 709 إلى الإشارات $Y'C'_BC'_R$ أو $R'G'B'$ للتوصية 2020 من أجل نسق إشارة النصوع غير الثابت الوارد في التوصية ITU-BT 2020



وفيما يلي وظائف ومعادلات كل إطار في الشكل 1.

Q_{YC}^{-1}

التحويل الكمي العكسي لإشارات النصوع والاختلاف اللوني $D'_YD'_{CB}D'_{CR}$ (التوصية 709) الممثلة رقمياً ذات عمق البتات البالغ N_{709} بتة إلى إشارات نصوع واختلاف لوني $E'_YE'_{CB}E'_{CR}$ (التوصية 709) معايرة:

$$E'_Y = (D'_Y/2^{N_{709}-8} - 16)/219$$
$$E'_{CB} = (D'_{CB}/2^{N_{709}-8} - 128)/224$$
$$E'_{CR} = (D'_{CR}/2^{N_{709}-8} - 128)/224$$

Q_{RGB}^{-1}

التحويل الكمي العكسي لإشارات الألوان $D'_RD'_GD'_B$ (التوصية 709) الممثلة رقمياً ذات عمق البتات البالغ N_{709} بتة إلى إشارات ألوان $E'_RE'_GE'_B$ (التوصية 709) معايرة:

$$E'_R = (D'_R/2^{N_{709}-8} - 16)/219$$
$$E'_G = (D'_G/2^{N_{709}-8} - 16)/219$$
$$E'_B = (D'_B/2^{N_{709}-8} - 16)/219$$

M1

التحويل من إشارات النصوع والاختلاف اللوني $E'_Y E'_{CB} E'_{CR}$ (التوصية 709) المعايرة إلى إشارات الألوان $R'G'B'$ المعايرة، $E'_R E'_G E'_B$ (التوصية 709):

$$\begin{bmatrix} E'_R \\ E'_G \\ E'_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1{,}5747 \\ 1 & -0{,}1873 & -0{,}4682 \\ 1 & 1{,}8556 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E'_Y \\ E'_{CB} \\ E'_{CR} \end{bmatrix}$$

التحويل من اللاخطي إلى الخطي من إشارات الألوان $R'G'B'$ المعايرة، $E'_R E'_G E'_B$ (التوصية 709) إلى إشارات الألوان RGB المعايرة، $E_R E_G E_B$ (التوصية 709) الممثلة خطياً يتحقق بواحدة من معادلتين تفضيان إلى ألوان مختلفة اختلافاً طفيفاً فيما بينهما:

الحالة #1: في الحالة التي يكون فيها الهدف الحفاظ على الألوان المرئية على شاشة عرض للتوصية 709[1] عند عرضها على شاشة للتوصية 2020[2]، يستعمل تقريب للدالة EOTF العكسية من التوصية ITU-R BT.1886 (التوصية 1886):

$$E = (E')^{2{,}40} \quad , \; 0 \le E' \le 1$$

الحالة #2: في الحالة التي يكون فيها المصدر خرج كاميرا مباشرة والهدف مواءمة ألوان خرج كاميرا مباشرةً من التوصية 2020، يستعمل تقريب للدالة OETF العكسية للتوصية 709 (انظر الملحق 2):

$$E = (E')^{2} \quad , \; 0 \le E' \le 1$$

الملاحظة 1 – توصف التوصية ITU-R BT.1886 الدالة EOTF المرجعية التي تستخدم لعرض إشارات التوصية 709. ويعبر عن دالة التحويل كالتالي: $L = a(\max[(V+b),0])^{2{,}40}$؛ حيث $a = (L_W^{1/2{,}40} - L_B^{1/2{,}40})^{2{,}40}$ و $b = L_B^{1/2{,}40} / (L_W^{1/2{,}40} - L_B^{1/2{,}40})$. وتعرض الصيغة المعايرة المقربة لهذه الدالة في هذه الوثيقة ويمكن الحصول عليها بوضع $L_W = 1$ و $L_B = 0$.

الملاحظة 2 – يعرف مدى الإشارة E أو E' ضمن المدى من 0 إلى 1 في التوصية ITU-R BT.709. ومع ذلك، فإن تعريف التحويل الكمي للإشارة الفيديوية يسمح بقيم أكبر من 1 أو أقل من 0. ويمكن أيضاً تطبيق المعادلة أعلاه على القيم التي تزيد على 1 أو تقل عن 0.

---

1 شاشة التوصية 709 عبارة عن جهاز عرض له ألوان أساسية RGB تقابل تلك الواردة في التوصية ITU-R BT.709، نقطة بيضاء بالمعيار D65 ودالة EOTF تتطابق مع التوصية ITU-R BT.1886.

2 شاشة التوصية 2020 عبارة عن جهاز عرض له ألوان أساسية RGB تقابل تلك الواردة في التوصية ITU-R BT.2020، نقطة بيضاء بالمعيار D65 ودالة EOTF تتطابق مع التوصية ITU-R BT.1886.

M2

تحويل الألوان من إشارات ألوان *RGB* معايرة وممثلة خطياً، $E_RE_GE_B$ (التوصية 709) إلى إشارات ألوان *RGB* معايرة وممثلة خطياً $E_RE_GE_B$ (التوصية 2020):

$$\begin{bmatrix} E_R \\ E_G \\ E_B \end{bmatrix}_{2020} = \begin{bmatrix} 0{,}6370 & 0{,}1446 & 0{,}1689 \\ 0{,}2627 & 0{,}6780 & 0{,}0593 \\ 0 & 0{,}0281 & 1{,}0610 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0{,}4124 & 0{,}3576 & 0{,}1805 \\ 0{,}2126 & 0{,}7152 & 0{,}0722 \\ 0{,}0193 & 0{,}1192 & 0{,}9505 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_R \\ E_G \\ E_B \end{bmatrix}_{709}$$

$$= \begin{bmatrix} 1{,}7167 & -0{,}3557 & -0{,}2534 \\ -0{,}6667 & 1{,}6165 & 0{,}0158 \\ 0{,}0176 & -0{,}0428 & 0{,}9421 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0{,}4124 & 0{,}3576 & 0{,}1805 \\ 0{,}2126 & 0{,}7152 & 0{,}0722 \\ 0{,}0193 & 0{,}1192 & 0{,}9505 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_R \\ E_G \\ E_B \end{bmatrix}_{709}$$

$$= \begin{bmatrix} 0{,}6274 & 0{,}3293 & 0{,}0433 \\ 0{,}0691 & 0{,}9195 & 0{,}0114 \\ 0{,}0164 & 0{,}0880 & 0{,}8956 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_R \\ E_G \\ E_B \end{bmatrix}_{709}$$

التحويل من اللاخطي إلى الخطي لإشارات الألوان *RGB* المعايرة والممثلة خطياً، $E_RE_GE_B$ (التوصية 2020) إلى إشارات الألوان *R'G'B'* معايرة، $E'_RE'_GE'_B$ (التوصية 2020)، يتحقق بتطبيق معكوس معادلة التحويل من اللاخطي إلى الخطي.

الحالة #1: في الحالة التي يكون فيها الهدف الحفاظ على الألوان المرئية على شاشة عرض للتوصية 709، يستعمل تقريب لمعكوس الدالة EOTF بالتوصية 1886:

$$E' = E^{1/2{,}40} \quad , \quad 0 \le E \le 1$$

الحالة #2: في الحالة التي يكون فيها المصدر خرج كاميرا مباشرة والهدف مواءمة الألوان إلى خرج كاميرا مباشرة للتوصية 2020، يستعمل تقريب للدالة OETF للتوصية 2020 (انظر الملحق 2):

$$E' = E^{1/2} \quad , \quad 0 \le E \le 1$$

الملاحظة 3 – يعرف مدى الإشارة E أو E' ضمن المدى من 0 إلى 1 في التوصية ITU-R BT.2020. ومع ذلك، فإن تعريف التحويل الكمي للإشارة الفيديوية يسمح بقيم أكبر من 1 أو أقل من 0. ويمكن أيضاً تطبيق المعادلة أعلاه على القيم التي تزيد على 1 أو تقل عن 0.

M3

التحويل من إشارات ألوان *R'G'B'* معايرة، $E'_RE'_GE'_B$ (التوصية 2020) إلى إشارات نصوع واختلاف لوني معايرة، $E'_YE'_{CB}E'_{CR}$ (التوصية 2020):

$$\begin{bmatrix} E'_Y \\ E'_{CB} \\ E'_{CR} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0{,}2627 & 0{,}6780 & 0{,}0593 \\ -0{,}1396 & -0{,}3604 & 0{,}5000 \\ 0{,}5000 & -0{,}4598 & -0{,}0402 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E'_R \\ E'_G \\ E'_B \end{bmatrix}$$

Q_{RGB}

التحويل الكمي لإشارات الألوان المعايرة، $E'_RE'_GE'_B$ (التوصية 2020) إلى إشارات الألوان $D'_RD'_GD'_B$ (التوصية 2020) الممثلة رقمياً بعمق بتات يبلغ N_{2020} بتة:

$$D'_R = \text{INT}[(219 \times E'_R + 16) \times 2^{N_{2020}-8}]$$
$$D'_G = \text{INT}[(219 \times E'_G + 16) \times 2^{N_{2020}-8}]$$
$$D'_B = \text{INT}[(219 \times E'_B + 16) \times 2^{N_{2020}-8}]$$

Q_{YC}

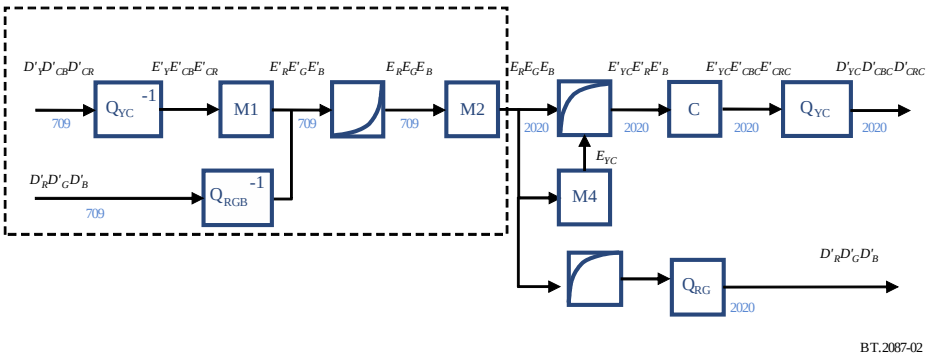
التحويل الكمي لإشارات النصوع والاختلاف اللوني $E'_YE'_{CB}E'_{CR}$ (التوصية 2020) إلى إشارات النصوع والاختلاف اللوني $D'_YD'_{CB}D'_{CR}$ (التوصية 2020) الممثلة رقمياً بعمق بتات يبلغ N_{2020} بتة:

$$D'_Y = \text{INT}[(219 \times E'_Y + 16) \times 2^{N_{2020}-8}]$$
$$D'_{CB} = \text{INT}[(224 \times E'_{CB} + 128) \times 2^{N_{2020}-8}]$$
$$D'_{CR} = \text{INT}[(224 \times E'_{CR} + 128) \times 2^{N_{2020}-8}].$$

يعرض الشكل 2 المخطط الوظيفي لتحويل الألوان من التوصية 709 إلى نسق إشارة النصوع الثابت الوارد في الجدول 4 بالتوصية BT.2020. وإشارات الدخل لهذا الشكل عبارة عن إشارات $R'G'B'$ و$Y'C'_BC'_R$ ممثلة رقمياً. وإشارات الخرج عبارة عن إشارات $R'G'B'$ و$Y'_CC'_{BC}C'_{RC}$ ممثلة رقمياً حيث تشير إضافة الرمز الفرعي 'c' إلى نسق إشارة النصوع الثابت.

الشكل 2

المخطط الوظيفي لتحويل الألوان من الإشارات $Y'C'_BC'_R$ أو $R'G'B'$ للتوصية 709 إلى إشارات الألوان $Y'_CC'_{BC}C'_{RC}$ أو $R'G'B'$ الخاصة بالتوصية 2020 من أجل نسق إشارة النصوع الثابت الوارد في التوصية ITU-R BT.2020



وفيما يلي وظائف ومعادلات كل إطار في الشكل 2:

بالنسبة للإطارات الخمسة الموجودة داخل الخط الأسود المتقطع، تطبق نفس المعادلات وإشارات الدخل/الخرج على النحو الموضح بالنسبة للشكل 1. وتقابل هذه الإطارات التحويل من إشارات النصوع والاختلاف اللوني، $D'_YD'_{CB}D'_{CR}$ وإشارات الألوان $D'_RD'_GD'_B$ (التوصية 709) الممثلة رقمياً إلى إشارات الألوان RGB، $E_RE_GE_B$ (التوصية 2020) المعايرة والممثلة خطياً.

وبالنسبة للإطارين 'M4' و'C' في الشكل 2 (فيما يتعلق بنسق إشارة النصوع الثابت)، فإنهما مختلفتان مقارنةً بالإطارين نفسهما في الشكل 1 (فيما يتعلق بنسق إشارة النصوع غير الثابت). وتطبق نفس الدالة اللاخطية ومعادلات التحويل الكمي بالنسبة للإطارات و'Q_{YcCc}' و'Q_{RGB}'. وللتمييز بين نسق إشارة النصوع غير الثابت والثابت، يضاف الرمز الفرعي 'c' لنسق إشارة النصوع الثابت.

التحويل من إشارات الألوان *RGB* المعايرة والممثلة خطياً، $E_R E_G E_B$ (التوصية 2020) إلى إشارة النصوع الثابت المعايرة، E_{Yc} (التوصية 2020):

$$[E_{Yc}] = [0{,}2627 \quad 0{,}6780 \quad 0{,}0593] \begin{bmatrix} E_R \\ E_G \\ E_B \end{bmatrix}$$

التحويل من الخطي إلى اللاخطي من إشارات اللونين *RB* المعايرة والممثلة خطياً $E_R E_B$ وإشارة النصوع الثابت المعايرة، E_{Yc} (التوصية 2020) إلى إشارات اللونين $R'B'$ المعايرتين والممثلتين لاخطياً $E'_R E'_B$ وإشارة النصوع الثابت المعايرة، E'_{Yc} (التوصية 2020) يتحقق بتطبيق معكوس معادلة التحويل من اللاخطي إلى الخطي.

الحالة #1: في الحالة التي يكون فيها الهدف الحفاظ على الألوان المرئية على شاشة عرض للتوصية 709، عند العرض على شاشة للتوصية 2020، يستخدم تقريب لمعكوس الدالة EOTF للتوصية 1886:

$$E' = E^{1/2{,}40} \qquad , \qquad 0 \le E \le 1$$

الحالة #2: في الحالة التي يكون فيها المصدر خرج كاميرا مباشرة والهدف مواءمة الألوان إلى خرج كاميرا مباشرة للتوصية 2020، يستعمل تقريب للدالة OETF للتوصية 2020 (انظر الملحق 2):

$$E' = E^{1/2} \qquad , \qquad 0 \le E \le 1$$

الملاحظة 4 – يعرف مدى الإشارة E أو E' ضمن المدى من 0 إلى 1 في التوصية ITU-R BT.2020. ومع ذلك، فإن تعريف التحويل الكمي للإشارة الفيديوية يسمح بقيم أكبر من 1 أو أقل من 0. ويمكن أيضاً تطبيق المعادلة أعلاه على القيم التي تزيد على 1 أو تقل عن 0.

التحويل من إشارات اللونين $R'B'$ المعايرة والممثلة لاخطياً، $E'_R E'_B$ وإشارة النصوع الثابت المعايرة، E'_{Yc} (التوصية 2020) إلى إشارات الاختلاف اللوني المعايرة $E'_{CBc} E'_{CRc}$ (التوصية 2020):

$$E'_{CB_c} = \begin{cases} \dfrac{E'_B - E'_{Y_c}}{2 \times 0{,}9702} & , -0{,}9702 \le E'_B - E'_{Y_c} \le 0 \\ \dfrac{E'_B - E'_{Y_c}}{2 \times 0{,}7910} & , 0 < E'_B - E'_{Y_c} \le 0{,}7910 \end{cases}$$

$$E'_{CR_c} = \begin{cases} \dfrac{E'_R - E'_{Y_c}}{2 \times 0{,}8591} & , -0{,}8591 \le E'_R - E'_{Y_c} \le 0 \\ \dfrac{E'_R - E'_{Y_c}}{2 \times 0{,}4969} & , 0 < E'_R - E'_{Y_c} \le 0{,}4969 \end{cases}$$

QRGB

التحويل الكمي لإشارات الألوان المعايرة، $E'_R E'_G E'_B$ (التوصية 2020) إلى إشارات الألوان $D'_R D'_G D'_B$ (التوصية 2020) الممثلة رقمياً بعمق بتات يبلغ N_{2020} بتة:

$$D'_R = \text{INT}[(219 \times E'_R + 16) \times 2^{N_{2020}-8}]$$
$$D'_G = \text{INT}[(219 \times E'_G + 16) \times 2^{N_{2020}-8}]$$
$$D'_B = \text{INT}[(219 \times E'_B + 16) \times 2^{N_{2020}-8}]$$

QYcCc

التحويل الكمي لإشارات النصوع الثابت والاختلاف اللوني المعايرة، $E'_{Yc} E'_{CBc} E'_{CRc}$ (التوصية 2020) إلى إشارات النصوع الثابت والاختلاف اللوني الممثلة رقمياً، $D'_{Yc} D'_{CBc} D'_{CRc}$ (التوصية 2020) بعمق بتات يبلغ N_{2020} بتة:

$$D'_{Yc} = \text{INT}[(219 \times E'_{Yc} + 16) \times 2^{N_{2020}-8}]$$
$$D'_{CBc} = \text{INT}[(224 \times E'_{CBc} + 128) \times 2^{N_{2020}-8}]$$
$$D'_{CRc} = \text{INT}[(224 \times E'_{CRc} + 128) \times 2^{N_{2020}-8}]$$

الملحق 2 (إعلامي)

دوال التحويل اللارقمي من أجل تحويل الألوان

ينمذج مفهوم تدفق الإشارة من ضوء المشهد إلى ضوء شاشة العرض في الأنظمة الفيديوية على النحو المبين في الشكل 3، ويتألف من أربع وظائف: قيم ضبط الكاميرا من أجل التصوير الإبداعي، ودالة التحويل البصري – الإلكتروني (OETF)، ودالة التحويل الكهربي – البصري (EOTF)، وقيم ضبط شاشة العرض من أجل مواءمة بيئة المشاهدة.

وتشمل قيم ضبط الكاميرا اللون القريب من الأسود في المقطع الخطي، وجزء ما قبل الركبة وميل الركبة والقيم الأخرى. والدالتين OETF بالتوصيتين 709 و2020 مماثلتين لدالة جذر التربيع. وانحراف الدالتين OETF هاتين عن دالة الأس 1/2,0 بما في ذلك اللون القريب من الأسود في المقطع الخطي، يمكن تحليله إلى دالة ضبط الكاميرا. لذا، فإن الدالة OETF نفسها يمكن اعتبارها دالة جذر تربيعي.

واستناداً إلى هذا المفهوم، ينبغي استعمال دالة التربيع ودالة جذر التربيع من أجل التحويل بين تمثيلات الإشارات الخطية واللاخطية للتحويل القائم على الدالة OETF الخاص بالحالة #2.

الشكل 3

المخطط الوظيفي للدالتين OETF وEOTF في الأنظمة الفيديوية

BT.2087-03

الملحق 3 (إعلامي)

أمثلة على حالتي الاستعمال لتحويل الألوان

كما ورد توضيحه في الملحق 1، هناك حالتا استعمال عامتان عندما يكون مطلوباً تحويل الألوان من التوصية 709 إلى التوصية 2020. ففي حالة الاستعمال الأولى (الحالة #1)، يتمثل الهدف في الحفاظ على الألوان المرئية في الأساس على شاشة للتوصية 709 عند العرض على شاشة للتوصية 2020. ويلاحظ أن شاشة التوصية 709 عبارة عن جهاز عرض له ألوان أساسية *RGB* تقابل تلك الواردة في التوصية ITU-R BT.709، نقطة بيضاء بالمعيار D65 ودالة EOTF تتطابق مع التوصية ITU-R BT.1886. وبالمثل، فإن شاشة التوصية 2020 عبارة عن جهاز عرض له ألوان أساسية *RGB* تقابل تلك الواردة في التوصية ITU-R BT.2020، نقطة بيضاء بالمعيار D65 ودالة EOTF تتطابق مع التوصية ITU-R BT.1886. وفي حالة الاستعمال الثانية (الحالة #2)، يتمثل الهدف في مواءمة ألوان خرج كاميرا مباشرة للتوصية 2020. والغرض من المثال التالي توضيح الاختلاف بين الحالتين والحاجة إلى نهجي تحويل مختلفين.

وبالنسبة لهذا المثال، يتم التقاط شيء لونه أحمر بكاميرتين مختلفتين: تتطابق إحداهما مع مواصفة التوصية 709 والأخرى مع مواصفة التوصية 2020. وتوصل كاميرا التوصية 709 بشاشة عرض للتوصية 709 تعمل بتشكيلة مرجعية نمطية (الدالة EOTF للتوصية 1886 بمستوى أبيض يبلغ 100 cd/m^2 ومستوى أسود يبلغ 0,005 cd/m^2 وفي بيئة مشاهدة التوصية 2035). وبالمثل، توصيل كاميرا التوصية 2020 بشاشة عرض للتوصية 2020 بنفس التشكيلة المرجعية (الدالة EOTF للتوصية 1886 بمستوى أبيض يبلغ 100 cd/m^2 ومستوى أسود يبلغ 0,005 cd/m^2 وفي بيئة مشاهدة التوصية 2035).

ويتم اختيار نصوع للشيء الأحمر بقيمة 20 cd/m^2 وبنفس اللونية الخاصة باللون الأحمر الأساسي للتوصية 709. ويمكن التعبير عن ذلك بإحداثيات *Yxy* كالتالي: Y = 20 وx = 0,64 وy = 0,33.

ويفترض في كاميرا التوصية 709 وجود أداة استشعار تستخدم دوالي مواءمة الألوان CIE1931 النموذجية ويتم ضبط حدقة العدسة بحيث ينتج الشيء الأحمر خرج Y معاير من أداة الاستشعار بقيمة 0,2، والناتج عبارة عن خرج *R'G'B'* مشفر من 10 بتات للتوصية 709 بالقيم R' = 914 وG' = 64 وB' = 64. وبعد فك التشفير بواسطة شاشة عرض التوصية 709، يكون الناتج عبارة عن خرج بالقيم Y = 19,8 وx = 0,640 وy = 0,330 وهو قريب جداً من ألوان المشهد الأصلي.

وإذا افترض أن أداة استشعار كاميرا التوصية 2020 تستخدم نفس دوال مواءمة الألوان ونفس قيم ضبط حدقة العدسة، يكون الناتج عبارة عن خرج *R'G'B'* مشفر من 10 بتات للتوصية 2020 بالقيم R' = 737 وG' = 258 وB' = 125. وتختلف القيم اختلافاً كثيراً عن خرج كاميرا التوصية 709 لأن اللون الأحمر ليس قريباً من اللون الأحمر الأساسي لنظام التوصية 2020 كما هو في نظام التوصية 709. وبعد فك التشفير بشاشة عرض التوصية 2020، يكون الناتج عبارة عن خرج بالقيم Y = 16,2 وx = 0,677

وy = 0,316 وهو أقل في النصوع بشكل طفيف وأزيد بشكل طفيف في اللون الأحمر عن لون المشهد الأصلي. وهذا التغير ناتج عن إنتاج النظام لأشعة غاما الذي يحدث في فضاء ألوان أرحب.

والآن، إذا تم تحويل خرج التوصية 709 ذي القيم R' = 914 وG' = 64 وB' = 64 إلى التوصية 2020 بالتحويل القائم على الدالة EOTF للحالة #1، يكون الناتج عبارة عن خرج للتوصية 2020 بالقيم R' = 764 وG' = 343 وB' = 217. وبعد فك التشفير بشاشة عرض التوصية 2020، يكون الناتج عبارة عن خرج بالقيم Y = 20,3 وx = 0,634 وy = 0,331 وهو قريب جداً من ألوان شاشة العرض الأصلية للتوصية 709 (الفارق DeltaE2000 يساوي 0,75). ويختلف ذلك كثيراً عن ألوان الالتقاط والعرض للتوصية 2020 (الفارق DeltaE2000 يساوي 5,9).

وإذا ما تم بدلاً من ذلك تحويل خرج التوصية 709 ذي القيم R' = 914 وG' = 64 وB' = 64 إلى التوصية 2020 باستخدام التحويل القائم على الدالة OETF للحالة #2، يكون الناتج عبارة عن خرج للتوصية 2020 بالقيم R' = 737 وG' = 287 وB' = 173. وبعد فك التشفير بشاشة عرض التوصية 2020، يكون الناتج عبارة عن خرج بالقيم Y = 17,0 وx = 0,660 وy = 0,321 وهو ما يطابق بشكل أفضل ألوان الالتقاط والعرض الأصلية للتوصية 2020 مقارنة بالحالة #1 (الفارق DeltaE2000 يساوي 2,3). ولكنه يطابق بشكل أسوأ ألوان شاشة العرض الأصلية للتوصية 709 (الفارق DeltaE2000 يساوي 3,4).

لذا، يبدو واضحاً، أنه من أجل تحويل محتوى سابق الإنتاج تم اعتماده في الأصل على شاشة للتوصية 709، يمكن تفضيل التحويل القائم على الدالة EOTF للحالة #1. ولكن بالنسبة للمخرجات الحية المختلطة بكاميرات التوصيتين 709 و2020، يمكن تفضيل التحويل القائم على الدالة OETF للحالة #2.