الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصية ITU-R BT.2124-0
(2019/01)

مقياس موضوعي لتقييم الرؤية الممكنة لتباين اللون في التلفزيون

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 القرار 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، 2020

© ITU 2020
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.2124-0*

مقياس موضوعي لتقييم الرؤية الممكنة لتباين اللون في التلفزيون

(2019)

مجال التطبيق

تحدد هذه التوصية مقياساً موضوعياً لتباين اللون مناسباً لاستخدامه في تقدير مدى احتمال رؤية تباين طفيف في ألوان الصور والإشارات التلفزيونية. ولتحقيق ذلك، تفترض التوصية حالة تكييف للمشاهد حساسة إلى أقصى درجة للون المراد تقييمه. ومن تطبيقات هذا المقياس، على سبيل المثال لا الحصر، معايرة شاشة العرض وتحديد خصائص الكاميرات وشاشات العرض والتقييم الموضوعي لتباين اللون الناجم عن استخدام تقنيات معالجة الإشارات.

مصطلحات أساسية

معايرة، مقياس، قياس، لون، مدى دينامي واسع (HDR)، تلفزيون ذو مدى دينامي واسع (HDR-TV)، إشارة بالنسق $ICTCP$

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) أن دقة الألوان مَعلمة مهمة من معلمات أنظمة التلفزيون ومعداته؛

ب) أن التقييمات الذاتية لمدى دقة الألوان عمليات معقدة ومهدرة للوقت؛

ج) أن من شأن وجود قياس موضوعي، أو مقياس موضوعي، للتباين الطفيف في اللون يقابل الإدراك الذاتي أن ييسر تقييم أنظمة التلفزيون ومعداته؛

د) أن مقاييس تباين اللون الحالية تفترض حالة تكييف معينة للمشاهد (مثل النقطة البيضاء، ومستوى الإضاءة، وبيئة المشاهدة، إلخ.)؛

هـ) أن حالة تكييف المشاهد في التلفزيون متغيرة وغير معلومة في الغالب؛

و) أن من المستحسن استخدام مقياس يشير إلى إمكانية إدراك التباين في اللون،

توصي

بحساب مقياس لتباين اللون، ΔE_{ITP}، لتقدير إمكانية رؤية التباين في ألوان الصور والإشارات التلفزيونية، وذلك على النحو المبين في الملحق 1.

* أجرت لجنة الدراسات 6 تعديلات صياغية على هذه التوصية في فبراير 2020 طبقاً للقرار ITU-R 1.

الملحق 1
(معياري)

المقياس ΔE_{ITP} الموضوعي لتباين اللون

1 مقدمة

يقدم المقياس ΔE_{ITP} المحدد في هذه التوصية تقديراً موضوعياً لمدى إمكانية رؤية التباين بين لونين. ولأغراض التيسير، فقد جرى تدريجه بحيث تشير قيمة 1 فيه إلى إمكانية وجود تباين ملحوظ بالكاد في اللون. ولضمان عدم انخفاض تنبؤات المقياس ΔE_{ITP} للتباين في اللون المدرك؛ فإنه يفترض أقصى حالات التكييف حساسية. ومع أن ذلك يعني عدم انخفاض تنبؤاته للتباين في اللون، فإنه قد يبالغ في هذه التنبؤات.

ويُشتق مقياس ΔE_{ITP} للتباين في اللون من نسق التمثيل اللوني IC_TC_P المتعلق بشاشة العرض. ويرد التعريف المعياري لهذا النسق في الجدول 7 في التوصية ITU-R BT.2100، ويُستنسخ في هذه التوصية لأغراض التيسير. وللاطلاع على تمثيلات أخرى للإشارة، بما فيها XYZ، ارجع إلى الملحق 2 الإعلامي المتعلق بالتحويل إلى الإشارة RGB. ويرد في الملحق 3 الإعلامي مقياس بديل للإشارات النسبية المتعلقة بالمشهد، بينما يورد الملحق 4 الإعلامي مثالاً يمكن استخدامه في معايرة شاشة العرض وتحديد خصائصها.

2 حساب المقياس ΔE_{ITP}

الخطوة 1: تحويل الإشارات R وG وB الخطية المتعلقة بشاشة العرض (وفقاً للجدول 10 في التوصية ITU-R BT.2100) إلى إشارات L وM وS خطية (وفقاً للجدول 7 في التوصية ITU-R BT.2100):

$$L = (1688R + 2146G + 262B)/4096$$
$$M = (683R + 2951G + 462B)/4096$$
$$S = (99R + 309G + 3688B)/4096$$

الخطوة 2: تحويل الإشارات L وM وS الخطية إلى إشارات L' وM' وS' لاخطية بتطبيق وظائف النقل اللاخطي لنظام التكميم الإدراكي (PQ) المحددة في الجدول 4 في التوصية ITU-R BT.2100:

$$\{L', M', S'\} = EOTF^{-1}(F)$$

حيث:

$$F = \{L, M, S\}$$
$$EOTF^{-1}(F) = \left(\frac{c_1 + c_2 Y^{m_1}}{1 + c_3 Y^{m_1}}\right)^{m_2}$$
$$Y = F / 10000$$
$$m_1 = 2610/16384 = 0.1593017578125$$
$$m_2 = 2523/4096 \times 128 = 78.84375$$
$$c_1 = 3424/4096 = 0.8359375 = c_3 - c_2 + 1$$
$$c_2 = 2413/4096 \times 32 = 18.8515625$$
$$c_3 = 2392/4096 \times 32 = 18.6875.$$

الخطوة 3: تحويل الإشارات L' وM' وS' اللاخطية إلى إشارات I وC_T وC_P على النحو المحدد في الجدول 7 في التوصية ITU-R BT.2100:

$$I = 0.5L' + 0.5M'$$
$$C_T = (6610L' - 13613M' + 7003S')/4096$$
$$C_P = (17933L' - 17390M' - 543S')/4096$$

الخطوة 4: تدريج الإشارة IC_TC_P للحصول على ITP:

$$I = I$$
$$T = 0.5 \times C_T$$
$$P = C_P$$

الخطوة 5: حساب المقياس ΔE_{ITP}:

$$\Delta E_{ITP} = 720 \times \sqrt{(I_1 - I_2)^2 + (T_1 - T_2)^2 + (P_1 - P_2)^2}$$

حيث تمثل القيم I وT وP نسخة مدرّجة من المكونات اللونية لأي إشارة تلفزيونية معبَّر عنها بالنظام PQ المحدد في الجدول 7 في التوصية ITU-R BT.2100، وتشير قيمتا 1 و2 الفرعيتان إلى إشارتين للمقارنة بينهما، وتعادل القيمة 1 درجة تباين ملحوظة بالكاد عند مشاهدتها في أقصى حالات التكييف حساسيةً.

الملحق 2
(إعلامي)

التحويل إلى الإشارة RGB الخطية المتعلقة بشاشة العرض وفقاً للمواصفات الواردة في التوصية ITU-R BT.2100

يبين هذا الملحق الإعلامي عملية التحويل من عدة تمثيلات لونية شائعة إلى الإشارة RGB الخطية المتعلقة بشاشة العرض والمستخدمة في حساب المقياس ΔE_{ITP} لتباين اللون.

عملية التحويل 1: من إحداثيات اللونية CIE 1931 X وY وZ إلى الإشارات R وG وB الخطية المتعلقة بشاشة العرض

غالباً ما يُفاد بقيم XYZ الخطية عند قياس شاشات العرض المادية باستخدام مقياس الألوان الخاص بالصور، حيث يمكن تحويلها إلى الإشارة RGB المتعلقة بشاشة العرض باتباع خطوات التحويل أدناه. ثم يمكن استخدام النتيجة كمُدخل في الخطوة 1 الواردة في الملحق 1. لاحظ أنه يمكن مزج هذه العملية بعملية التحويل إلى الإشارات L وM وS الخطية الواردة في الخطوة 1 بالملحق 1 لضمان كفاءة الحساب.

$$R = 1.716651187971268X - 0.355670783776392Y - 0.253366281373660Z$$
$$G = -0.666684351832489X + 1.616481236634939Y + 0.015768545813911Z$$
$$B = 0.017639857445311X - 0.042770613257809Y + 0.942103121235474Z$$

عملية التحويل 2: التمثيل اللوني الرقمي IC_TC_P

يمكن استحدام التمثيل اللوني IC_TC_P لحساب المقياس ΔE_{ITP} بعد إبطال تدريج المدى الرقمي ثم الانتقال مباشرة إلى الخطوة 4 الواردة في الملحق 1. وتعتمد عملية التحويل هذه على عمق البتّات وعلى التمثيل الرقمي للمدى الضيق أو الكامل، على النحو المبين في الجدول 9 في التوصية ITU-R BT.2100.

المدى الكامل

$$I = I_D / (2^n - 1)$$
$$C_T = (C_{TD} - 2^{n-1}) / (2^n - 1)$$
$$C_P = (C_{PD} - 2^{n-1}) / (2^n - 1)$$

المدى الضيق

$$I = ((I_D / 2^{n-8}) - 16) / 219$$
$$C_T = ((C_{TD} / 2^{n-8}) - 128) / 224$$
$$C_P = ((C_{PD} / 2^{n-8}) - 128) / 224$$

حيث:

n هي عمق البتّات

$\{I_D, C_{TD}, C_{PD}\}$ هي التمثيلات الرقمية للتمثيل اللوني IC_TC_P.

عملية التحويل 3: من التمثيل اللوني RGB بالتكميم الإدراكي (PQ) وفقاً للتوصية BT.2100 الرقمي إلى الإشارات R وG وB الخطية المتعلقة بشاشة العرض

يمكن تحويل التمثيل اللوني RGB بالتكميم PQ الرقمي إلى الإشارة RGB الخطية المتعلقة بشاشة العرض باتباع خطوات التحويل أدناه. وتعتمد عملية التحويل هذه على عمق البتّات وعلى التمثيل الرقمي للمدى الضيق أو الكامل. ويمكن استخدام النتيجة بعد ذلك كمُدخل في الخطوة 1 الخاصة بالملحق 1. ويتّبع هذا التحويل العملية المبينة في الجدول 4 في التوصية ITU-R BT.2100.

$$E' = \begin{cases} E'_D/(2^n - 1) & \text{مدى كامل} \\ \left((E'_D/2^{n-8}) - 16\right)/219 & \text{مدى ضيق} \end{cases}$$

حيث n هي عمق البتّات.

$$\{R, G, B\} = EOTF(E')$$

حيث:

$E' = \{R', G', B'\}$ هي الإشارات اللاخطية المقيسة.

$$EOTF(E') = 10\,000 * \left(\frac{max\left[E'^{1/m_2} - c_1, 0\right]}{c_2 - c_3 E'^{1/m_2}}\right)^{1/m_1}$$

$m_1 = 2610/16384 = 0.1593017578125$
$m_2 = 2523/4096 \times 128 = 78.84375$
$c_1 = 3424/4096 = 0.8359375 = c_3 - c_2 + 1$
$c_2 = 2413/4096 \times 32 = 18.8515625$
$c_3 = 2392/4096 \times 32 = 18.6875$

عملية التحويل 4: من التمثيل اللوني RGB باللوغاريتم غاما الهجين (HLG) وفقاً للتوصية BT.2100 الرقمي إلى الإشارات R وG وB الخطية المتعلقة بشاشة العرض

يمكن تحويل التمثيل اللوني RGB باللوغاريتم HLG الرقمي إلى الإشارة RGB الخطية المتعلقة بشاشة العرض باتباع خطوات التحويل أدناه. وتعتمد عملية التحويل هذه على عمق البتّات وعلى التمثيل الرقمي للمدى الضيق أو الكامل، وتحدد قيمة قصوى افتراضية لنصوع الشاشة مقدراها 1 000 cd/m^2 مع قيمة كسب للمستعمل بمقدار 1,0 وقيمة رفع مستوى السواد لدى المستعمل بمقدار 0,0. ويمكن استخدام النتيجة بعد ذلك كمُدخل في الخطوة 1 الخاصة بالملحق 1. ويتّبع هذا التحويل العملية المبينة في الجدول 5 في التوصية ITU-R BT.2100.

$$E' = \begin{cases} E'_D/(2^n - 1) & \text{مدى كامل} \\ \left((E'_D/2^{n-8}) - 16\right)/219 & \text{مدى ضيق} \end{cases}$$

حيث n هي عمق البتّات.

$\{R, G, B\} = EOTF(E')$

وحيث:

$E' = \{R', G', B'\}$ هي الإشارات اللاخطية المقيسة.

$EOTF(E') = OOTF(OETF^{-1}(E'))$

$$OETF^{-1}(x) = \begin{cases} {x^2}/{3} & 0 \le x \le {1}/{2} \\ \left\{\exp\left(\left({(x-c)}/{a}\right)+b\right\}/12\right. & \left.{1}/{2} < x \le 1\right\} \end{cases}$$

$$OOTF(x) = L_W . Y_S^{\gamma-1} x$$

$Y_S = 0.2627R_S + 0.6780G_S + 0.0593B_S$

$\{R_S, G_S, B_S\} = OETF^{-1}(E')$

$L_W = 1\,000$ cd/m^2

$\gamma = 1.2$

$a = 0.17883277$

$b = 1 - 4a$

$c = 0.5 - a(\ln(4a))$

عملية التحويل 5: من التمثيل اللوني RGB وفقاً للتوصية BT.1886 الرقمي إلى الإشارات R وG وB الخطية المتعلقة بشاشة العرض

يمكن تحويل التمثيل اللوني RGB وفقاً للتوصية BT.709 الرقمي إلى الإشارات R وG وB الخطية المتعلقة بشاشة العرض باتباع خطوات التحويل أدناه. وتعتمد عملية التحويل هذه على عمق البتّات. وعادةً ما تُستخدم قيمة قصوى للنصوع (L_W) تساوي 100 cd/m^2 (وفقاً للتوصية ITU-R BT.2035)، وتحدَّد قيمة المستوى الأسود 'b' بمقدار 0,0. ويمكن بعد ذلك استخدام النتيجة كمُدخل في الخطوة 1 الخاصة بالملحق 1. وتستخدم هذه العملية وظيفة التحويل الإلكتروني–البصري (EOTF) المحددة في الملحق 1 للتوصية ITU-R BT.1886.

$E' = \left((E'_D/2^{n-8}) - 16\right)/219$ مدى ضيق

حيث n هي عمق البتّات.

$\{R_{709}, G_{709}, B_{709}\} = EOTF(E')$

$R_{2100} = 0.6274R_{709} + 0.3293G_{709} + 0.0433B_{709}$

$G_{2100} = 0.0691R_{709} + 0.9195G_{709} + 0.0114B_{709}$

$B_{2100} = 0.0164R_{709} + 0.0880G_{709} + 0.8956B_{709}$

وحيث:

$E' = \{R', G', B'\}$ هي الإشارات اللاخطية المقيسة.

$EOTF(E') = L_W \times E'^{2.4}$

الملحق 3
(إعلامي)

تقييم مدى دقة اللون النسبية باستخدام أسلوب HLG ومقياس ΔITP_R

يشير المقياس ΔE_{ITP} المعرَّف والمبين في الملحق 1 إلى التباين المدرك بين إشارتين إذا عُرضا على شاشة عرض مثالية. ولا يمكن تطبيق المقياس مباشرة على الإشارات النسبية المتعلقة بالمشهد التي لا تحدِّد بشكل صريح قيمة قصوى للنصوع ينبغي عرض الإشارة بها. إذ لا يمكن استخدام المقياس ΔE_{ITP} في هذه الحالة إلا عند تحديد قيمة اسمية قصوى لنصوع شاشة العرض. أما في حالة القيم القصوى الأخرى لنصوع شاشة العرض، فلا يقدم هذا المقياس سوى قياساً ترتيبياً لمقدار التشوه.

وفي بعض التطبيقات، مثل تقييم مدى تباعد تكميم التشفير في اللوغاريتم HLG، قد يكون من الأبسط حساب مقياس بديل استناداً إلى الإشارة HLG IC_TC_P النسبية، على النحو المحدد في الجدول 7 في التوصية ITU-R BT.2100. ونظراً إلى اختلاف تدرّج هذه الإشارة مقارنةً بالإشارة PQ IC_TC_P، تُحسب المكونتان T وP في المقياس النسبي على النحو التالي:

$$I = I$$
$$T = 0.5 \times 1.823698 \times C_T$$
$$P = 1.887755 \times C_P$$

ومن ثم، يقدم المقياس النسبي قياساً ترتيبياً للتباين الإدراكي فيما يخص الإشارات المتعلقة بالمشهد. وتمثل المسافة الإقليدية في الفضاء ITP هذا مقدار تباين اللون، وتعيَّن بالرمز ΔITP_R.

والمقياس ΔITP_R هذا أكثر تماثلية للمقياس PSNR المستخدم لتحديد مدى تباعد التكميم في عملية التشفير الفيديوي. غير أن للمقياس ΔITP_R ميزتين، حيث يحدد العلاقة المتبادلة مع التباينات الإدراكية على نحو أفضل ويراعي، في الوقت ذاته، اللون والنصوع.

الملحق 4
(إعلامي)

تطبيق المقياس ΔE_{ITP} لتقييم مدى دقة اللون

1 تقييم مدى دقة لون شاشة العرض

يشكل مقياس الألوان أداة القياس النمطية عند تحديد خصائص شاشات العرض ويُفيد بالقياسات إما في صيغة إحداثية اللونية XYZ أو إحداثية اللونية xyY. وسيستخدم هذا المثال القياسات XYZ.

ويمكن الحصول على قيمة دقة شاشة العرض عند استنساخ نموذج شريط اللون الوارد في التوصية ITU-R BT.2111 بقياس، أولاً، الركن السفلي الأيمن من النموذج (58% من قيم PQ للون الأزرق المحدد في التوصية BT.709). ويمكن حساب القيمة المتوقعة على النحو التالي:

1 تؤخذ قيم شفرات العشر بتات في المدى الكامل المقابلة للرقعة الزرقاء (يمكن الاطلاع عليها في التوصية ITU-R BT.2111): [296، 201، 582]؛

2 تعاير قيم الشفرات بقسمتها على 1023: [0,2893، 0,1964، 0,5689]؛

3 تحول إلى إشارة RGB خطية باستخدام وظيفة التحويل EOTF للتكمية PQ: [8,753، 2,291، 181,3]؛

4 حوّل إلى إشارة ITP على النحو المبين في الملحق 1. وبالتالي، فإن قيمة ITP لنسبة 58% من قيم PQ للون الأزرق المحدد في التوصية BT.709 تساوي [0,3554، 0,1346، –0,1613].

2 حساب تباين اللون

بافتراض أن مقياس الألوان يحدد قيم الألوان الثلاثة XYZ بالمقادير [36، 15، 190]، يمكن تحويل هذه القيم إلى ITP باتباع عملية التحويل من XYZ إلى RGB المحددة في الملحق 2 ثم اتباع الخطوات المبينة في الملحق 1. وبذلك، ستساوي القيم المتحصّلة [0,3568، 0,1321، –0,1629].

ويمكن حساب تباين اللون باستخدام المعادلة التالية للمقياس ΔE_{ITP} :

$$\Delta E_{ITP} = 720 \times \sqrt{(0.3554 - 0.3568)^2 + (0.1346 - 0.1321)^2 + \left((-0.1613) - (-0.1629)\right)^2}$$
$$\Delta E_{ITP} = 2.363$$

وغالباً ما يضمن الاعتماد على خانتين مهمتين فقط في حالة معايرة شاشة العرض قدراً كافياً من الدقة، وبالتالي يمكن تقريب الناتج إلى 2,4. وتشير هذه القيمة إلى التباين بين النتيجة التي كانت متوقعة لما يمكن رؤيته في ظل حالة تكييف حساسة والنتيجة التي أصدرتها شاشة العرض بالفعل. وتحديد قيمة العتبة المسموح بها بأقل من 3 يمكن أن يكون مستوى مقبولاً لدقة شاشة العرض المرجعية. غير أن العتبة المناسبة قد تختلف إلى حد كبير بين التطبيقات.

وقد تُصدر بعض شاشات العرض ألواناً أخرى غير تلك المشمولة بمجموعة تدرج الألوان المحددة في التوصية ITU-R BT.2100. وفي هذه الحالة، قد يكون ناتج التحويل من XYZ إلى RGB قيماً سالبة. غير أن القيم ITP تظل قادرة على تمثيل هذه الألوان. وبالتالي، إذا أُريد قياس مدى دقة أحد الألوان غير المشمولة بمجموعة تدرج الألوان المحددة، ينبغي ألا ترفع الأعداد السالبة إلى الصفر خلال عملية التحويل إلى قيم الإشارة ITP.

3 تقييم أثر معالجة الإشارات على دقة اللون

بافتراض أن إحدى الإشارات المتعلقة بشاشة العرض قد عولجت وحدثت أخطاء لونية طفيفة، وأُريد تكميم أثر هذه الأخطاء اللونية الذاتي، تُحوَّل قيم بيكسلات الدخل والخرج إلى الميدان ITP باستخدام لاخطية النظام PQ، ثم يُحسب المقياس ΔE_{ITP} لتحديد مقدار الخطأ اللوني الذاتي. وتشير قيمة المقياس ΔE_{ITP} التي تزيد عن 1 إلى أن من الممكن إدراك الخطأ اللوني.

ونظراً إلى أن الإشارة ITP قد تمثل ألواناً أخرى غير تلك المحددة في التوصية ITU-R BT.2100، قد يكون من المستحسن حصر إشارة ITP في مجموعة تدرج الألوان المحددة في التوصية ITU-R BT.2100. إذ يضمن ذلك تمثيل قيم المقياس ΔE_{ITP} للإشارة المعروضة على شاشة مرجعية طبقاً للتوصية ITU-R BT.2100. ولحصر الإشارة ITP في هذه المجموعة، تحوَّل قيمها أولاً إلى RGB، وترفع الأعداد السالبة إلى الصفر، ثم يُعاد تحويلها إلى ITP.