

الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصية **ITU-R BT.2100-1**
(2017/06)

قيم معلمات الصور لأنظمة التلفزيون
ذات المدى الدينامي الواسع من أجل
الاستعمال في إنتاج البرامج وتبادلها دولياً

السلسلة **BT**
الخدمة الإذاعية (التلفزيونية)

تمهيد

يضم 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 مدى 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 الكهروتقنية الدولية (ITU-T/ITU-R/ISO/IEC) والمشار إليها في القرار 1 ITU-R. وترد الاستثمارات 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>)

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

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

النشر الإلكتروني

جنيف، 2018

© ITU 2018

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.2100-1¹

قيم معلمات الصور لأنظمة التلفزيون ذات المدى الدينامي الواسع من أجل الاستعمال في إنتاج البرامج وتبادلها دولياً

(2017-2016)

مجال التطبيق

يوفر التلفزيون ذو المدى الدينامي الواسع (HDR-TV) للمشاهدين تجربة مرئية محسنة من خلال توفير الصور التي أنتجت لتبدو صحيحة على شاشات أنصع، تبرز المعالم بقدر أكبر من الوضوح، وتوفر تفاصيل محسنة في المناطق المظلمة. وتحدد هذه التوصية معلمات صور التلفزيون ذي المدى الدينامي الواسع لاستخدامها في عمليات الإنتاج وتبادل البرامج الدولية باستخدام طريقة التكميم الإدراكي (PQ) وطريقة لوغاريتم غاما المهجين (HLG).

مصطلحات أساسية

المدى الدينامي الواسع، HDR، التلفزيون، HDR-TV، معلمات نظام الصور، الإنتاج التلفزيوني، تبادل البرامج الدولي، التدرج اللوني الواسع، التكميم الإدراكي، PQ، لوغاريتم غاما المهجين، HLG.

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) أن قطاع الاتصالات الراديوية قد حدد أنساق صور التلفزيون الرقمي من أجل التلفزيون عالي الوضوح (HDTV) والتلفزيون فائق الوضوح (UHDTV) في التوصيتين ITU-R BT.709 و ITU-R BT.2020؛

ب) أن أنساق الصور التلفزيونية هذه كانت محدودة في المدى الدينامي للصور التي يمكن أن توفرها بحكم اعتمادها على خصائص أنبوب الأشعة الكاثودية (CRT) التقليدية التي تحد من نصوع الصورة والتفاصيل في المناطق المظلمة؛

ج) أن شاشات التلفزيون الحديثة قادرة على عرض الصور بدرجة نصوع أعلى ونسبة تباين أكبر وتدرج ألوان أوسع مما توفره أساليب إنتاج البرامج التقليدية؛

د) أن المشاهدين يتوقعون أنظمة تلفزيونية مستقبلية توفر خصائص محسنة مقارنةً بأنظمة التلفزيون عالي الوضوح (HDTV) وفائق الوضوح (UHDTV) المتاحة حالياً، من حيث تعزيز الإحساس بالواقعية وزيادة الشفافية للعالم الحقيقي وتوفير معلومات مرئية أكثر دقة؛

هـ) أن التلفزيون ذا المدى الدينامي الواسع (HDR-TV) أثبت أنه قادر على زيادة استمتاع المشاهد بالصور التلفزيونية؛

و) أن التلفزيون HDR-TV يوفر "خطوة" تحسن في تجربة المشاهد من خلال زيادة النصوع إلى حد كبير والتفصيل في إبراز الملامح وانتشار الأجسام العاكسة، بينما يوفر المزيد من التفصيل في المناطق المظلمة؛

ز) أن الجمع بين المدى الدينامي الموسع والتدرج اللوني الموسع يعطي التلفزيون HDR-TV قدراً أكبر بكثير من عمق الألوان؛

ح) أن أنساق صور التلفزيون HDR-TV ينبغي أن تتمتع، حسب الاقتضاء، بدرجة من التوافق مع أساليب سير العمل والبني التحتية الراهنة؛

¹ التعديلات المدخلة على قيم المعلمات الواردة في هذه الوثيقة ينبغي مقارنتها بالقيم الواردة في الصيغ المنشورة سابقاً من هذه التوصية.

ط) أنه ينبغي تحديد بيئة مشاهدة مرجعية تشتمل على معلمات الشاشة لأنساق صور التلفزيون HDR-TV،

وإذ تضع في اعتبارها أيضاً

أنه نظراً للتطورات السريعة في تكنولوجيا المدى الدينامي الواسع (HDR)، قد يرغب الاتحاد في أن يستعجل النظر في إجراء تحديثات وتحسينات في هذه التوصية،

وإذ تلاحظ

أن التقرير ITU-R BT.2390 يحتوي على معلومات كثيرة عن طريقتين لتحقيق مواصفات التلفزيون HDR-TV،

توصي

باستعمال المواصفات الواردة في هذه التوصية من أجل إنتاج برامج التلفزيون ذي المدى الدينامي الواسع (HDR-TV) أو التكميم الإدراكي (PQ) أو لوغاريتم غاما المهجين (HLG) وتبادلها دولياً.

ملاحظة - تسمح مواصفة التكميم الإدراكي (PQ) بتحقيق مستويات نصوع واسعة المدى من أجل عمق معين للبتات باستعمال وظيفة التحويل اللاخطي التي يتم ضبطها بدقة من أجل مواءمتها مع الجهاز البصري البشري. وتوفر مواصفة لوغاريتم غاما المهجين (HLG) درجة من التوافق مع شاشات العرض التقليدية من خلال مواءمة أدق مع منحنيات التحويل التلفزيوني المعدة سابقاً. ويقدم التقرير ITU-R BT.2390 معلومات إضافية بشأن التكميم الإدراكي ولوغاريتم غاما المهجين، والتحويل بين هذين النسقين وتوافقهما مع الأنظمة السابقة.

الجدول 1

الخصائص المكانية والزمانية للصورة

المعلمة	القيم
شكل حاوية الصورة ^{1a}	16:9
عدد بيكسلات الحاوية ^{1b} رأسي × أفقي	7 680 × 4 320 3 840 × 2 160 1 920 × 1 080
شبكة أخذ العينات	متعامد
النسبة الباعية للبيكسلات	1:1 (بيكسلات مربعة)
ترتيب البيكسلات	ترتيب البيكسلات في كل صف من اليسار إلى اليمين، ويكون ترتيب الصفوف من أعلى إلى أسفل.
تردد الرتل (Hz)	24/1,001، 24، 25، 30/1,001، 30، 50، 60/1,001، 60، 100، 120/1,001، 120
نسق الصورة	تدرجي
<p>الملاحظة 1a - تستخدم الحاوية لتحديد القيود الأفقية والرأسية لنسق الصورة.</p> <p>الملاحظة 1b - ينبغي أن تستخدم عمليات الإنتاج نسق الصورة الأعلى استبانة إلى أقصى حد ممكن عملياً. ومن المسلم به أن العينات في كثير من الحالات تنحدر من المنتجات عالية الاستبانة إلى أنساق أقل استبانة للتوزيع. ومن المعروف أن الإنتاج في نسق استبانة أعلى، ثم الحُدار العينات إلكترونياً للتوزيع، يفضي إلى نوعية متفوقة من الإنتاج في الاستبانة المستخدمة للتوزيع.</p>	

الجدول 2

القياس اللوني للنظام

القيم		الطيف البصري (إعلامي)	المعلمة	
إحداثيات اللونية (CIE, 1931)				
y	x			
0,292	0,708	وحيد اللون nm 630	الألوان الأساسية	أحمر أساسي (R)
0,797	0,170	وحيد اللون nm 532		أخضر أساسي (G)
0,046	0,131	وحيد اللون nm 467		أزرق أساسي (B)
0,3290	0,3127	D65 بحسب المعيار ISO 11664-2:2007	أبيض مرجعي	
CIE 1931			وظائف مواءمة الألوان	

يحدد الجدول 3 المعلمات لاستحداث بيئة مشاهدة مرجعية من أجل المشاهدة الناقدة لمواد برامج المدى الدينامي الواسع (HDR) أو البرامج الكاملة التي يمكنها توفير نتائج قابلة للتكرار من مرفق لآخر عند مشاهدة نفس المواد. ومن الممكن إنشاء مرافق المشاهدة بأساليب عديدة، بل سوف يستمر ذلك، من جانب الكيانات المعنية بالمونتاج وتصحيح الألوان وعرض الأفلام وما شابه ذلك، ولا يقصد من المواصفات الواردة في هذا الجدول الإيحاء بالحاجة إلى التوحيد المطلق في هذه المرافق.

الجدول 3

بيئة المشاهدة المرجعية من أجل المشاهدة الناقدة لمواد برامج المدى الدينامي الواسع (HDR)

القيم	المعلمة
رمادي محايد عند D65	محيط وحد خارجي ^{3a}
5 cd/m ²	نصوع المحيط
5 cd/m ² ≥	نصوع الحد الخارجي
تجنب سقوط النور على الشاشة	الإضاءة المحيطة
لنسق 1 080 × 1 920: ارتفاع الصورة 3,2 لنسق 2 160 × 3 840: ارتفاعات الصور 1,6 إلى 3,2 لنسق 4 320 × 7 680: ارتفاعات الصور 0,8 إلى 3,2	مسافة المشاهدة ^{3b}
1 000 ≤ cd/m ²	ذروة نصوع الشاشة ^{3c}
0,005 ≥ cd/m ²	نصوع الشاشة الأدنى (سوية السواد) ^{3d}

الملاحظة 3a - يشير مصطلح "محيط" إلى المنطقة المحيطة بالشاشة التي يمكن أن تؤثر على تكيف الرؤية. ويتعلق الأمر عادة بجائط أو رواق يوجد وراء الشاشة. ويشير مصطلح "حد خارجي" إلى البيئة المتبقية، خارج المنطقة المحيطة.

الملاحظة 3b - عندما يتناول تقييم الصورة مسألة الاستبانة، ينبغي استخدام القيمة الأدنى لمسافة المشاهدة. وعندما لا يتناول مسألة الاستبانة، يمكن استخدام أي مسافة مشاهدة في المدى المبيّن.

الملاحظة 3c - هذا لا يعني ضرورة تحقيق مستوى النصوع لكامل بياض الصورة وإنما إبراز معالم مناطق صغيرة.

الملاحظة 3d - يتحدد مستوى السواد الفعلي باستخدام إشارة تجهيزات توليد ضبط الصورة (PLUGE) (قيد التطوير) وقد يختلف عن القيمة المبيّنة.

يصف الجدولان 4 و5 وظائف التحويل من أجل نسق التكميم الإدراكي (PQ) ونسق لوغاريتم غاما المهجين (HLG)، على التوالي. وينبغي أن يؤدي إنتاج التلفزيون ذي المدى الدينامي الواسع وشاشة عرضه إلى الاستخدام المتسق لوظائف التحويل لأحد النظامين ولكن لا يجوز الجمع بين الإثنين. ويوضح الملحق 1 الإعلامي معاني مختلف وظائف التحويل وأين تستخدم في سلسلة نقل الإشارة. ويوفر الملحق 3 الإعلامي معلومات عن المعادلات البديلة التي من شأنها أن تيسر تنفيذ وظائف التحويل هذه.

الجدول 4

وظائف النقل اللاخطي المرجعية لنظام التكميم الإدراكي (PQ)

المعلمة	القيم
إشارة الدخل إلى وظيفة التحويل الإلكتروني-البصري (EOTF) للتكميم الإدراكي	القيمة المشفرة PQ اللاخطية. الوظيفة EOTF تنقل الإشارة PQ اللاخطية إلى ضوء الشاشة.
PQ المرجعية 4a EOTF	$F_D = \text{EOTF}[E'] = 10000 Y$ $Y = \left(\frac{\max\left[\left(E'^{1/m_2} - c_1\right), 0\right]}{c_2 - c_3 E'^{1/m_2}} \right)^{1/m_1}$ <p>حيث:</p> <p>E' تشير إلى قيمة اللون اللاخطية $\{R', G', B'\}$ أو $\{L', M', S'\}$ في حيز PQ [0,1]</p> <p>F_D هي نصوع مكونة خطية معروضة $\{R_D, G_D, B_D\}$ أو Y_D أو I_D بوحدة cd/m^2 4b</p> <p>بحيث عندما تكون $R'=G'=B'$، يكون البيكسل المعروض عدس اللون.</p> <p>Y تشير إلى قيمة لون خطية معيارية، في المدى [0:1]</p> <p>$m_1 = 2610/16384 = 0,1593017578125$</p> <p>$m_2 = 2523/4096 \times 128 = 78,84375$</p> <p>$c_1 = 3424/4096 = 0,8359375 = c_3 - c_2 + 1$</p> <p>$c_2 = 2413/4096 \times 32 = 18,8515625$</p> <p>$c_3 = 2392/4096 \times 32 = 18,6875$</p>
إشارة دخل إلى وظيفة التحويل البصري-البصري (OOTF) للتكميم الإدراكي	الضوء الخطي المشهدي. الوظيفة OOTF تنقل الضوء الخطي المشهدي إلى الضوء الخطي على الشاشة.
PQ المرجعية OOTF	$F_D = \text{OOTF}[E] = G_{1886} [G_{709}[E]]$ <p>حيث:</p> <p>$E = \{R_S \text{ أو } G_S \text{ أو } B_S \text{ أو } Y_S \text{ أو } I_S\}$ هي الإشارة التي تتحدد بضوء المشهد ومقياس تعرض الكاميرا</p> <p>توجد القيم $E, R_S, G_S, B_S, Y_S, I_S$ تقع في المدى [0:1] 4c</p> <p>E' هي التمثيل اللاخطي للإشارة E</p> <p>F_D هي نصوع مكونة خطية معروضة $\{R_D \text{ أو } G_D \text{ أو } B_D \text{ أو } Y_D \text{ أو } I_D\}$</p> <p>$F_D = G_{1886} [G_{709}[E]] = G_{1886} E'$</p> <p>$E' = G_{709}[E] = 1,099 (59,5208 E)^{0,45} - 0,099$ for $1 > E > 0,0003024$</p> <p>$= 267,84 E$ for $0,0003024 \geq E \geq 0$</p> <p>$F_D = G_{1886}[E'] = 100 E'^{2,4}$</p>
إشارة الدخل إلى وظيفة التحويل البصري-الإلكتروني (OETF)	الضوء الخطي المشهدي. الوظيفة OETF تنقل الضوء الخطي المشهدي النسبي إلى قيمة إشارة PQ لخطية.

الجدول 4 (تتمة)

المعلمة	القيم
PQ OETF المرجعية يفضي استخدام هذه الوظيفة OETF إلى الوظيفة OOTF المرجعية عندما تعرض على شاشة عرض مرجعية تستخدم EOTF المرجعية.	$E' = \text{OETF}[E] = \text{EOTF}^{-1}[\text{OOTF}[E]] = \text{EOTF}^{-1}[F_D]$ <p>حيث:</p> $\text{EOTF}^{-1}[F_D] = \left(\frac{c_1 + c_2 Y^{m_1}}{1 + c_3 Y^{m_1}} \right)^{m_2}$ $Y = F_D / 10000$ <p>E' هي الإشارة اللاخطية الناتجة (B', G', R') في المدى [0:1] E, F_D، محددتان في وظيفة التحويل البصري-البصري c_3, c_2, c_1, m_2, m_1 محددة في وظيفة التحويل الإلكتروني-البصري</p>

الملاحظة 4a - ينبغي أن تستخدم هذه اللاخطية (وعكسها) بالذات عندما يكون من الضروري التحويل بين التمثيل اللاخطي والتمثيل الخطي.

الملاحظة 4b - في هذه التوصية، عند الإشارة إلى نصوص مكونة لون واحدة (R_D , G_D , B_D)، يعني ذلك نصوص إشارة عديمة اللون مكافئة يكون فيها لمكونات اللون الثلاث نفس القيمة.

الملاحظة 4c - تبعاً لمدى تعرض الكاميرا، قد يكون من المستحسن إنتاج مدى أصغر من النصوص يمكن تمثيله بواسطة التكميم الإدراكي. ويمكن تحقيق ذلك بخفض مدى التعرض الخطي الأولي للكاميرا 0-1 إلى مدى أصغر قبل تطبيق الوظيفة OOTF.

الجدول 5

وظائف التحويل اللاخطي المرجعي لنظام لوغاريتم غاما الهجين (HLG)

المعلمة	القيم
إشارة الدخل إلى HLG OETF	الضوء الخطي المشهدي. الوظيفة OETF تنقل الضوء الخطي المشهدي النسبي إلى قيمة إشارة لخطية.
الوظيفة المرجعية OETF لنظام HLG 5a	$E' = \text{OETF}[E] = \begin{cases} \sqrt{3E} & 0 \leq E \leq \frac{1}{2} \\ a \cdot \ln(12E - b) + c & \frac{1}{2} < E \leq 1 \end{cases}$ <p>حيث:</p> <p>E هي الإشارة لكل مكونة لون $\{B_S, G_S, R_S\}$ نسبة إلى ضوء المشهد ومقياس تعرض الكاميرا، معايرة إلى المدى [0:1]. E' هي الإشارة الناتجة اللاخطية $\{B', G', R'\}$ في المدى [0:1]. $a = 0,17883277$, $b = 1 - 4a$, $c = 0.5 - a \cdot \ln(4a)^{5b}$</p>
إشارة الدخل إلى الوظيفة EOTF HLG	قيمة مشفرة HLG لخطية. الوظيفة EOTF تحول الإشارة HLG اللاخطية إلى ضوء شاشة العرض.

الجدول 5 (تابع)

القيم	المعلمة
$F_D = \text{OOTF}[E] = \text{OOTF}[\text{OETF}^{-1}[E']]$ <p>وهكذا،</p> $R_D = \alpha Y_S^{\gamma-1} R_S + \beta$ $G_D = \alpha Y_S^{\gamma-1} G_S + \beta$ $B_D = \alpha Y_S^{\gamma-1} B_S + \beta$ <p>حيث:</p> <p>R_S, G_S, B_S هي إشارات الضوء الخطية المشهدية، E، لكل مكونة لون معايرة في المدى [0:1].</p> $E = \text{OETF}^{-1}[E'] = \begin{cases} E'^2 / 3 & 0 \leq E' \leq 1/2 \\ \{\exp((E' - c)/a) + b\} / 12 & 1/2 < E' \leq 1 \end{cases}$ $Y_S = 0.2627 R_S + 0.6780 G_S + 0.0593 B_S$ $\alpha = (L_W - L_B)$ $\beta = L_B$ <p>و:</p> <p>F_D هي نصوع المكونة الخطية المعروضة $\{R_D$ أو G_D أو $B_D\}$، بوحدة $5c$. cd/m^2، R_D, G_D, B_D هي الضوء المعروض لكل مكونة لون $5d$، بوحدة cd/m^2، بحيث عندما تكون $R' = G' = B'$، يكون البيكسل المعروض عديم اللون.</p> <p>$\gamma = 1,2$ عند نصوع ذروة العرض الاسمي بمقدار 1000 $5d, 5e, 5f$. cd/m^2</p> <p>E' هي الإشارة اللاخطية $\{R', G', B'\}$ حسبها هي محددة من أجل الوظيفة $5g$. OETF.</p> <p>قيم المعلمة a و b و c حسبها هي محددة من أجل الوظيفة OETF.</p> <p>الوظيفة OOTF معرفة أدناه.</p> <p>L_W هي ذروة نصوع العرض الاسمية بوحدة cd/m^2 من أجل البيكسل عديم اللون.</p> <p>L_B هي نصوع العرض للون الأسود بوحدة cd/m^2.</p> <p>مدى الإشارة الاسمي E و R_S و G_S و B_S و Y_S هو [0:1].</p>	<p>الوظيفة المرجعية OETF لنظام HLG</p>
<p>الضوء الخطي المشهدي. الوظيفة OOTF تحول الضوء الخطي المشهدي إلى الضوء الخطي على الشاشة.</p>	<p>إشارة دخل HLG إلى الوظيفة OOTF</p>

الجدول 5 (تتمة)

المعلمة	القيم
	$F_D = \text{OOTF}[E] = \alpha Y_S^{\gamma-1} E + \beta$ $R_D = \alpha Y_S^{\gamma-1} R_S + \beta$ $G_D = \alpha Y_S^{\gamma-1} G_S + \beta$ $B_D = \alpha Y_S^{\gamma-1} B_S + \beta$ $Y_S = 0.2627 R_S + 0.6780 G_S + 0.0593 B_S$
الوظيفة المرجعية OOTF لنظام 5hHLG	<p>حيث:</p> <p>F_D هي نصوع المكونة الخطية المعروضة $\{R_D$ أو G_D أو $B_D\}$، بوحدة cd/m^2.</p> <p>$\{R_D$ أو G_D أو $B_D\}$ حسبها هي معرفة من أجل الوظيفة HLG للمرجع EOTF.</p> <p>E هي الإشارة لكل مكونة لون $\{R_S, G_S, B_S\}$ نسبياً إلى ضوء الخط المشهدي وقياس التعرض للكاميرا، معايرة للمدى [0:1].</p> <p>Y_S هي نصوع المشهد الخطي المعيار.</p> <p>α و β و γ حسبها هي معرفة من أجل الوظيفة EOTF.</p>

الملاحظة 5a - ينبغي استخدام عكس اللاخطية هذه عندما يكون من الضروري التحويل بين التمثيل اللاخطي والتمثيل الخطي لضوء المشهد.

الملاحظة 5b - يتم الحصول على القيمتين التاليتين $b = 0,28466892$ و $c = 0,55991073$ من أجل القيمتين b و c .

الملاحظة 5c - في هذه التوصية، عند الإشارة إلى نصوع مكون لوني واحد (R_D, G_D, B_D) يعني ذلك نصوع إشارة عديمة اللون مكافئة يكون فيها لمكونات اللون الثلاث نفس القيمة.

الملاحظة 5d - هذه الوظيفة EOTF تطبق غاما على مكونة النصوع في الإشارة، بينما قد تطبق بعض العروض التقليدية غاما بشكل منفصل عن مكونات اللون. وتقترب بعض العروض التقليدية من الوظيفة OOTF المرجعية هذه.

الملاحظة 5e - أما بالنسبة للشاشات ذات ذروة النصوع الاسمية (L_W) التي تزيد عن $1\,000\text{ cd/m}^2$ ، أو التي ينخفض فيها نصوع الذروة الاسمية الفعال باستعمال عنصر التحكم في التباين، فينبغي تعديل قيمة غاما للنظام وفقاً للصبغة الواردة أدناه، ويمكن تقريبها إلى ثلاثة أرقام ذات دلالة:

$$\gamma = 1,2 + 0,42 \text{Log}_{10}(L_W/1000)$$

الملاحظة 5f - يمكن تخفيض قيمة غاما للنظام من أجل ظروف خلفية وحولية أنصع.

الملاحظة 5g - يتوقع، أثناء الإنتاج، أن تتجاوز قيم الإشارة النطاق $E' = [0,0 : 1,0]$. وهذا يوفر فسحة للمعالجة ويتجنب الحطاط الإشارة أثناء المعالجة المتسلسلة. وينبغي ألا تقتطع قيم E' هذه، التي تقل عن 0,0 أو تتجاوز 1,0، أثناء الإنتاج والتبادل.

وينبغي ألا تكون القيم الواردة أدناه 0,0 مقتطعة في شاشات العرض المرجعية (حتى لو كانت تمثل ضوءاً "سلبياً") للسماح بتحديد المستوى الأسود للإشارة (L_B) بشكل صحيح باستخدام إشارات الاختبار المعروفة باسم توليد ضبط الصورة "PLUGE".

الملاحظة 5h - يُشتق عكس الوظيفة OOTF HLG على النحو التالي:

$$R_S = \left(\frac{Y_D - \beta}{\alpha} \right)^{(1-\gamma)/\gamma} \left(\frac{R_D - \beta}{\alpha} \right)$$

$$G_S = \left(\frac{Y_D - \beta}{\alpha} \right)^{(1-\gamma)/\gamma} \left(\frac{G_D - \beta}{\alpha} \right)$$

$$B_S = \left(\frac{Y_D - \beta}{\alpha} \right)^{(1-\gamma)/\gamma} \left(\frac{B_D - \beta}{\alpha} \right)$$

$$Y_D = 0,2627 R_D + 0,6780 G_D + 0,0593 B_D$$

لأغراض المعالجة، عندما يكون العرض الفعلي غير معروف، يمكن تحديد α عند $1,0\text{ cd/m}^2$ و β عند $0,0\text{ cd/m}^2$.

ويصف الجدولان 6 و7 مختلف تمثيلات إشارة تباين النصوص واللون، المناسبة لأخذ العينات الفرعية للون، و/أو تشفير المصدر. ويستخدم نسق النصوص غير الثابت (NCL) على نطاق واسع ويعتبر النسق بالتغيب. وقد أدرج نسق الكثافة الثابتة (CI) مؤخراً في هذه التوصية وينبغي ألا يستخدم في تبادل البرامج ما لم تتفق جميع الأطراف على ذلك.

الجدول 6

نسق إشارة النصوص غير الثابت $Y' C'_B C'_R$ 6a

قيم HLG	قيم PQ	المعلمة
$\{R', G', B'\} = \text{OETF}(E)$ حيث $E = \{R_S, G_S, B_S\}$	$\{R', G', B'\} = \text{EOTF}^{-1}(F_D)$ حيث $F_D = \{R_D, G_D, B_D\}$	اشتقاق من B', G', R'
$Y' = 0,2627R' + 0,6780G' + 0,0593B'$		اشتقاق من Y'
$C'_B = \frac{B' - Y'}{1.8814}$ $C'_R = \frac{R' - Y'}{1.4746}$		اشتقاق إشارات اختلاف اللون

الملاحظة 6a - لغرض الاتساق مع الاستخدام السابق للمصطلحات، تستخدم الفتحة في الرموز Y' و C'_B و C'_R للإشارة إلى أنها مشتقة من Y و B و R اللاحطية.

الجدول 7

نسق إشارة $I C_T C_P$ ذات الكثافة الثابتة 7a، 7b

قيم HLG	قيم PQ	المعلمة
$L = (1688R + 2146G + 262B)/4096$ $M = (683R + 2951G + 462B)/4096$ $S = (99R + 309G + 3688B)/4096$		فضاء اللون L, M, S
$\{L', M', S'\} = \text{OETF}(E)$ حيث $E = \{L_S, M_S, S_S\}$	$\{L', M', S'\} = \text{EOTF}^{-1}(F_D)$ حيث $F_D = \{L_D, M_D, S_D\}$	اشتقاق من L', M', S'
$I = 0,5L' + 0,5M'$		اشتقاق من I
$C_T = (6610L' - 13613M' + 7003S')/4096$ $C_P = (17933L' - 17390M' - 543S')/4096$		اشتقاق إشارات اختلاف اللون

الملاحظة 7a - لا تستخدم الرموز I و C_T و C_P المدخلة حديثاً الفتحة وذلك لتبسيط الترميز.

الملاحظة 7b - ينبغي حصر الألوان ضمن المثلث المحدد بالألوان الأساسية RGB في الجدول 2.

الملاحظة 7c - يشير الذيلان D و S إلى ضوء الشاشة وضوء المشهد، على التوالي.

الجدول 8

أخذ العينات الفرعية للألوان

القيم			المعلمة
$R', G', B' \text{ or } Y', C'_B, C'_R, \text{ or } I, C_T, C_P$			إشارة مشفرة
متعامدة ومتكررة في الخط والصورة ومشاركة في الموقع			شبكة أخذ العينات $- R', G', B', Y', I$
متعامدة ومتكررة في الخط والصورة ومشاركة في الموقع. العينة الأولى (أعلى اليسار) مشاركة في الموقع مع العينة الأولى Y' أو I .			شبكة أخذ العينات $- C'_B, C'_R, C_T, C_P$
النظام 4:2:0	النظام 4:2:2	النظام 4:4:4	
يُقسم إلى عينات فرعية أفقياً ورأسياً بمعامل 2 فيما يتعلق بالمكونة Y' أو I	يُقسم إلى عينات فرعية أفقياً بمعامل 2 فيما يتعلق بالمكونة Y' أو I	لكل مكونة نفس عدد العينات الأفقية كما هو الحال بالنسبة للمكونة Y' أو I	

ويصف الجدول 9 تمثيلين مختلفين للإشارات هما "ضيق" و"كامل". وتمثيل المدى الضيق مستخدم على نطاق واسع وهو يعتبر التمثيل بالتغيب. وقد أدرج التمثيل الكامل في هذه التوصية حديثاً وينبغي ألا يستخدم في تبادل البرامج ما لم تتفق جميع الأطراف على ذلك.

الجدول 9

التمثيل الرقمي لأعداد صحيحة من 10 و 12 بتة

القيم				المعلمة
$R', G', B' \text{ or } Y', C'_B, C'_R, \text{ or } I, C_T, C_P$				إشارة مشفرة
$n = 10, 12$ بتة لكل مكونة				نسق التشفير
مدى كامل		مدى ضيق		تكميم المشتقات R', G', B', Y', I (ينبغي اختزال القيم الناتجة التي تتجاوز مدى البيانات الفيديوية إلى مدى البيانات الفيديوية)
$D = \text{Round} [(2^n - 1) \times E']$		$D = \text{Round} [(219 \times E' + 16) \times 2^{n-8}]$		
$D = \text{Round} [(2^n - 1) \times E' + 2^{n-1}]$		$D = \text{Round} [(224 \times E' + 128) \times 2^{n-8}]$		تكميم المشتقات C'_B, C'_R, C_T, C_P (ينبغي اختزال القيم الناتجة التي تتجاوز مدى البيانات الفيديوية إلى مدى البيانات الفيديوية)
تشفير بـ 12 بتة	تشفير بـ 10 بتات	تشفير بـ 12 بتة	تشفير بـ 10 بتات	سويات التكميم
0	0	256	64	أسود $(R' = G' = B' = Y' = I = 0)$ DR', DG', DB', DY', DI
4 095	1 023	3 760	940	ذروة اسمية $(R' = G' = B' = Y' = I = 1)$ DR', DG', DB', DY', DI

الجدول 9 (تتمة)

القيم				المعلومات
2 048	512	2 048	512	عدم اللون ($C'_B = C'_R = 0$) DC'_B, DC'_R, DC_T, DC_P
4 095	1 023	3 840	960	ذروة اسمية ($C'_B = C'_R = +0,5$) DC'_B, DC'_R, DC_T, DC_P
1	1	256	64	ذروة اسمية ($C'_B = C'_R = -0,5$) DC'_B, DC'_R, DC_T, DC_P
0 إلى 4 095	0 إلى 1 023	16 إلى 4 079	4 إلى 1 019	مدى البيانات الفيديوية 9a، 9b، 9c

حيث:

$$\text{Round}(x) = \text{Sign}(x) * \text{Floor}(|x| + 0,5)$$

$$\text{Floor}(x) \text{ أكبر عدد صحيح أقل من } x \text{ أو مساوياً له}$$

$$\text{Sign}(x) = \begin{cases} 1 & ; x > 0 \\ 0 & ; x = 0 \\ -1 & ; x < 0 \end{cases}$$

الملاحظة 9a - يمكن أن تمتد إشارات المدى الضيق أسفل اللون الأسود (دون الأسود) وأن تتجاوز قيم الذروة الاسمية (فوق الأبيض)، ولكن ينبغي ألا تتجاوز مدى البيانات الفيديوية

الملاحظة 9b - تحجز بعض السطوح البينية للصور الرقمية قيماً رقمية من أجل معلومات التوقيت مثلاً مما يجعل المدى الفيديوي المسموح به لهذه الواجهات أضيق من المدى الفيديوي لإشارة المدى الكامل. ويعتمد التقابل بين صور المدى الكامل لهذه الواجهات على التطبيق المعني.

يقدم الجدول 10 تمثيل إشارة النقطة العائمة من 16 بته. ولا يوجد حالياً واجهات في الوقت الفعلي لهذا النسق. ومن المتوقع أن يبدأ استخدام هذا النسق في سير العمل القائم على الملفات وتبادل البرامج.

الجدول 10

تمثيل إشارة النقطة العائمة (FP)

القيم	المعلومة
الخطية B, G, R	تمثيل الإشارة
نقطة عائمة من 16 بته لكل معيار IEEE 754-2008.	تشفير الإشارة
$R = G = B = 1,0$ يمثل $1,0 \text{ cd/m}^2$ في الشاشة المرجعية.	معايرة للإشارات القائمة على العرض
$R = G = B = 1,0$ يمثل الحد الأقصى لمستوى انتشار الأبيض.	معايرة للإشارات القائمة على المشهد

الملحق 1 (إعلامي)

العلاقة بين الوظائف OETF و EOTF و OOTF

تستخدم هذه التوصية بإسهاب المصطلحات التالية:

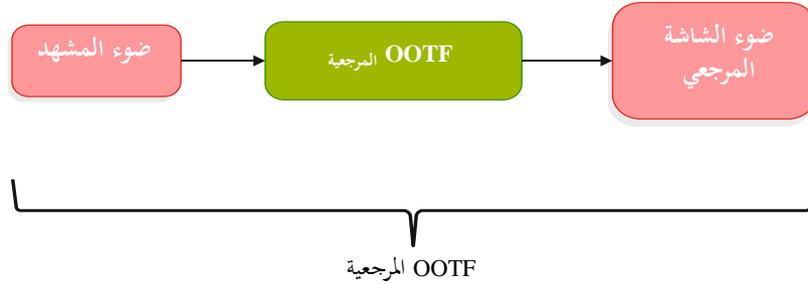
OETF: وظيفة التحويل البصري-الإلكتروني، تحول ضوء المشهد الخطي إلى إشارة فيديو، داخل الكاميرا عادة.

EOTF: وظيفة التحويل الإلكتروني- البصري، تحول الإشارة الفيديوية إلى خرج الضوء الخطي في الشاشة.

OOTF: وظيفة التحويل البصري-البصري، لها دور تطبيق "التمثيل المتوخى".

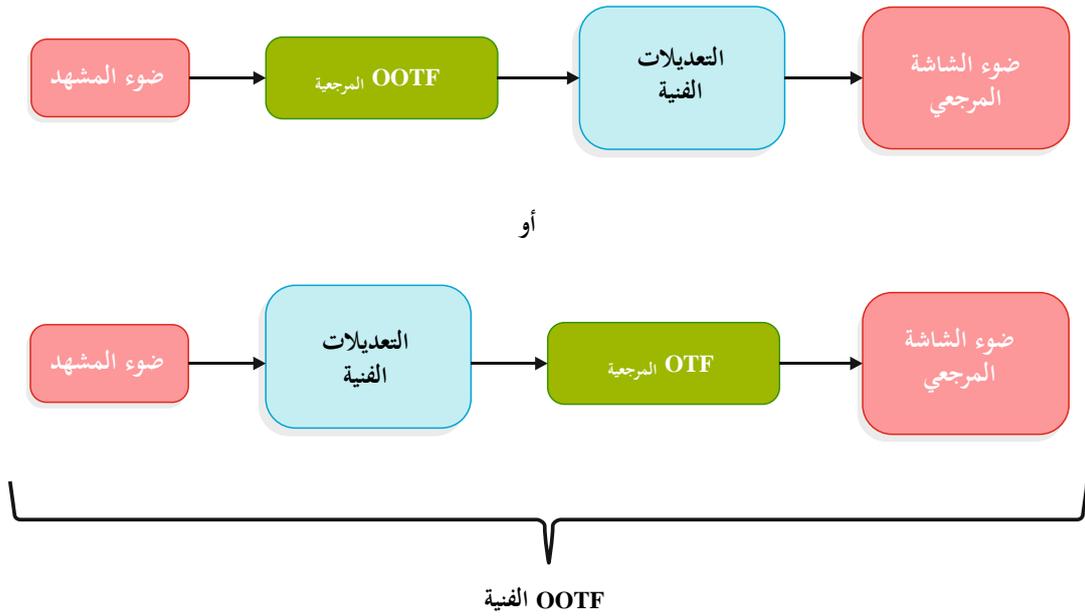
وهذه الوظائف مترابطة، ولذلك فإن اثنتين فقط من ثلاثة مستقلتان. ولدى معرفة أي اثنتين منها يمكن حساب الوظيفة الثالثة. ويشرح هذا القسم كيف تظهر هذه الوظائف في أنظمة التلفزيون وكيفية ارتباطها.

وفي أنظمة التلفزيون، لا يرتبط الضوء المعروض خطأً بالضوء الذي تلتقطه الكاميرا. وتطبق بدلاً من ذلك الوظيفة اللاخطية الإجمالية، OOTF. وهذه الوظيفة OOTF "المرجعية" تعوض عن التفاوت في إدراك درجة اللون بين بيئة الكاميرا وبيئة الشاشة. ويمكن مواصفة واستخدام الوظيفة "OOTF المرجعية" الاستنساخ المتسق للصورة من طرف إلى طرف، وهو عنصر هام في الإنتاج التلفزيوني.



BT.2100-Ann1-01

ويمكن إجراء تعديل فني لتعزيز الصورة. ومن شأن ذلك أن يغير الوظيفة OETF، التي يمكن عندئذ أن تسمى "OOTF الفنية". ويمكن تطبيق التعديل الفني إما قبل OOTF المرجعية أو بعدها.



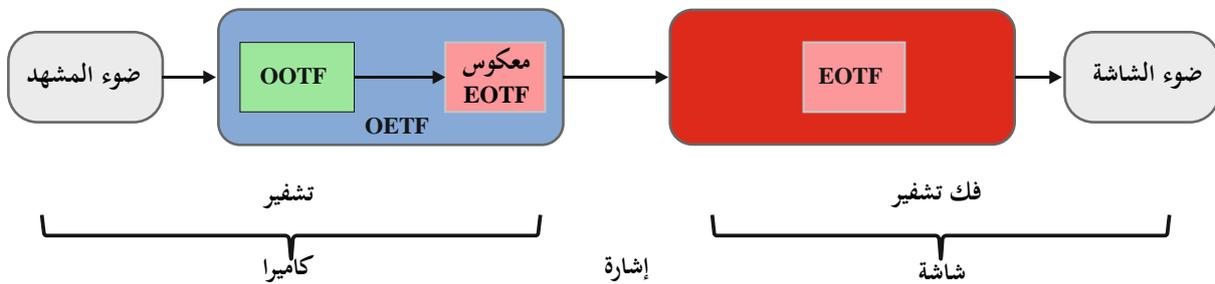
BT.2100-Ann1-02

وعموماً فإن الوظيفة OOTF هي تسلسل لوظيفة OETF، التعديلات الفنية، ووظيفة EOTF.



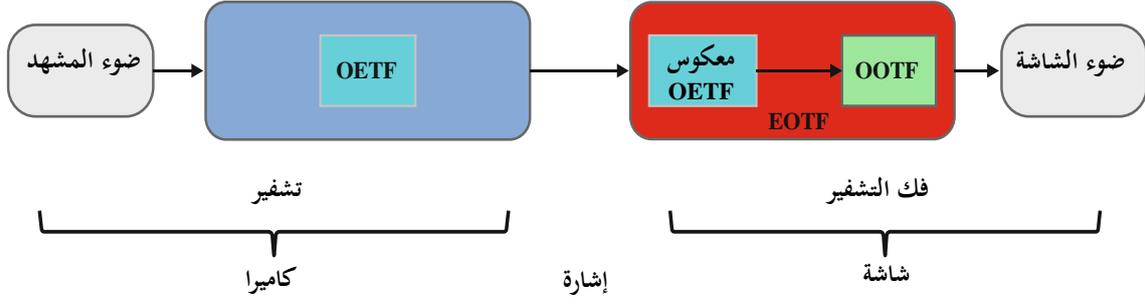
BT.2100-Ann1-03

وقد صمم نظام PQ بموجب النموذج المبين أدناه، حيث يعتبر أن الوظيفة OOTF داخل الكاميرا (أو مفروضة في عملية الإنتاج).



BT.2100-Ann1-04

وقد صمم نظام HLG بموجب النموذج المبين أدناه، حيث يعتبر أن الوظيفة OOTF في الشاشة.



BT2100-Ann1-05

وظيفتان فقط من الوظائف الثلاث اللاحطية، OETF و EOTF و OOTF، مستقلة. وفي الترميز الوظيفي (حيث تشير الرموز الذيلية إلى مكونة اللون) تكون:

$$\begin{aligned} OOTF_R(R, G, B) &= EOTF_R(OETF_R(R, G, B)) \\ OOTF_G(R, G, B) &= EOTF_G(OETF_G(R, G, B)) \\ OOTF_B(R, G, B) &= EOTF_B(OETF_B(R, G, B)) \end{aligned}$$

وهذا أوضح إذا كان التسلسل ممثلاً بالرمز \otimes . وبموجب هذا الترميز، تكون العلاقات الثلاث التالية بين هذه الوظائف اللاحطية الثلاث:

$$\begin{aligned} OOTF &= OETF \otimes EOTF \\ EOTF &= OETF^{-1} \otimes OOTF \\ OETF &= OOTF \otimes EOTF^{-1} \\ OOTF^{-1} &= EOTF^{-1} \otimes OETF^{-1} \\ EOTF^{-1} &= OOTF^{-1} \otimes OETF \\ OETF^{-1} &= EOTF \otimes OOTF^{-1} \end{aligned}$$

ويعرّف نّجج التكميم PQ بواسطة وظيفته EOTF. وبالنسبة إلى PQ، يمكن اشتقاق OETF من OOTF باستخدام السطر الثالث من المعادلات الواردة أعلاه. وعلى نحو تكميلي، يعرّف نّجج اللوغاريتم HLG بواسطة وظيفته OETF. وبالنسبة إلى HLG، يمكن اشتقاق EOTF من OOTF باستخدام السطر الثاني من المعادلات الواردة أعلاه.

الملحق 2 (إعلامي)

تمثيل معلمات وظيفتي التحويل الإلكتروني-البصري والبصري-الإلكتروني

الغرض من هذا الملحق، فيما يتعلق بمجموعات المعلمات المناسبة، هو تسهيل تنفيذ وظائف التحويل البصري-الإلكتروني المرجعية (OETF) وكذلك وظائف التحويل الإلكتروني-البصري المرجعية (EOTF) لهذه التوصية.

ويمكن تمثيل الوظيفة EOTF بالمعادلة (1):

$$(1) \quad L(V) = \left(\frac{c - (V - m)st}{V - m - s} \right)^{1/n}$$

حيث:

V : قيمة لون لاختطية

L : قيمة اللون الخطية المقابلة.

ويمكن تحديد مجموعة المعلمات $\{s, t, c, n, m\}$ وفقاً للتطبيق المرغوب.

ويمكن تمثيل الوظيفة OETF بالمعادلة (2):

$$(2) \quad V(L) = \frac{sL^n + c}{L^n + st} + m$$

وجدير بالملاحظة أنه إذا أعطيت المعلمات s و t و c و n و m قيماً متماثلة في المعادلتين (1) و (2)، عندئذ يكون كل من $L(V)$ و $V(L)$ المعكوس الرياضي للآخر.

ومن المفيد، في بعض التطبيقات، معايرة V في المعادلتين (1) و (2) وفقاً للمعادلة (3):

$$(3) \quad \hat{V} = \frac{V - p}{k} + m$$

حيث:

V : قيمة لون لاختطية

\hat{V} : قيمة لون لاختطية معايرة تُحل محل V في المعادلتين (1) و (2).

ويمكن تحديد المعلمتين k و p وفقاً للتطبيق المرغوب.

ومن المفيد، في بعض التطبيقات، معايرة L في المعادلتين (1) و (2) وفقاً للمعادلة (4):

$$(4) \quad \hat{L} = \frac{L - b}{a}$$

حيث:

L : قيمة لون خطية

\hat{L} : قيمة لون خطية معيارية تحل محل L في المعادلتين (1) و(2).

ويمكن تحديد المعلمتين a و b وفقاً للتطبيق المرغوب.

ومن خلال استعمال هذه المعادلات، يمكن إنشاء تنفيذ فعلي بتحديد القيمة الخاصة بكل معلمة. وعلى سبيل المثال، لإنتاج إشارة معيارية خطية، يمكن أن تكون معاملات المعادلة (3) كالتالي: $p = m = 0$ و $k = 1$. ومن ثم، تكون معاملات المعادلة (4) كالتالي: $a = 1$ و $b = 0$. ويمكن تنفيذ زوج عينات للوظيفتين OETF و EOTF بقيمة غاما للنظام قدرها 1,0 كنقطة انطلاق بواسطة المعادلتين (1) و(2) باستعمال المعلمات التالية: $s = 1, t = m = 0,2701, c = -0,0729, n = 0,4623$.