التوصيـة ITU-R BT.2100-3

(2025/02)

السلسلة BT: الخدمة الإذاعية (التلفزيونية)

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



**السلسلة SA**

**التطبيقات الفضائية والأرصاد الجوية**

**تمهيـد**

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 <https://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 <https://www.itu.int/publ/R-REC/ar>) | |
| **السلسلة** | **العنـوان** |
| **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 التحديد الراديوي للموقع 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، 2025

© ITU 2025

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

التوصيـة ITU-R BT.2100-3

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

المسألة ITU-R 142-3/6

 (2025-2018-2017-2016)

**جدول المحتويات**

*الصفحة*

[الملحق 1 (إعلامي) - العلاقة بين الوظائف OETF وEOTF وOOTF 10](#_Toc196390552)

[الملحق 2 (إعلامي) - تمثيل معلمات وظيفتي التحويل الإلكتروني-البصري والبصري-الإلكتروني 13](#_Toc196390553)

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 الهجين (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 الهجين، 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 وITU‑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؛

*ه‍ )* 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 وانتثار 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 والبُنى التحتية الراهنة؛

*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 الهجين (HLG) وتبادلها دولياً.

**ملاحظة** - تسمح مواصفة التكميم الإدراكي (PQ) بتحقيق مستويات نصوع واسعة المدى من أجل عمق معين للبتات باستعمال وظيفة التحويل اللا خطي التي يتم ضبطها بدقة من أجل مواءمتها مع الجهاز البصري البشري. وتوفر مواصفة لوغاريتم غاما الهجين (HLG) درجة من التوافق مع شاشات العرض التقليدية من خلال مواءمة أدق مع منحنيات التحويل التلفزيوني المعدة سابقاً. ويتضمن التقرير ITU-R BT.2390 معلومات إضافية عن التكميم الإدراكي (PQ) ولوغاريتم غاما الهجين (HLG)، والتحويل بينهما، والتوافق مع الأنظمة السابقة.

الجدول 1

الخصائص المكانية والزمانية للصورة

|  |  |
| --- | --- |
| المعلمة | القيم |
| شكل حاوية الصورة 1a | 16:9 |
| عد بيكسلات الحاوية 1b  أفقي × رأسي | 7 680 × 4 320  3 840 × 2 160  1 920 × 1 080 |
| شبيكة 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) | 120، 120/1,001، 100، 60، 60/1,001، 50، 30، 30/1,001، 25، 24، 24/1,001 |
| نسق الصورة | تدريجي |
| الملاحظة 1a - تستخدم الحاوية لتحديد القيود الأفقية والرأسية لنسق الصورة.  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 انحدار العينات إلكترونياً للتوزيع، يفضي إلى نوعية متفوقة من الإنتاج في الاستبانة المستخدمة للتوزيع. | |

الجدول 2

القياس اللوني للنظام

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

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)

| المعلمة | القيم |
| --- | --- |
| الحولية والمحيطية3a | رمادي محايد عند D65 |
| نصوع الحولية | 5 cd/m2 |
| نصوع المحيطية | ≥ 5 cd/m2 |
| الإضاءة المحيطة | تجنب سقوط النور على الشاشة |
| مسافة المشاهدة3b | لنسق 1 920 x 1 080: ارتفاع الصورة 3,2  لنسق 3 840 x 2 160: ارتفاعات الصور 1,6 إلى 3,2  لنسق 7 680 x 4 320: ارتفاعات الصور 0,8 إلى 3,2 |
| ذروة نصوع الشاشة 3c | ≤ 1 000 cd/m2 |
| نصوع الشاشة الأدنى (سوية السواد)3d | ≥ 0,005 cd/m2 |
| الملاحظة 3a - "الحولية" هي المنطقة المحيطة بشاشة العرض والتي يمكن أن تؤثر في تكيف العين، وتتمثل عادة في الحائط أو الستار الواقع خلف شاشة العرض؛ أما "المحيطية" فهي بقية البيئة الواقعة خارج الحولية.  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 - بالنسبة إلى التكميم الإدراكي (PQ) في بيئة مشاهدة غير مرجعية أو لوغاريتم غاما الهجين (HLG) (في أي بيئة مشاهدة)، ينبغي ضبط مستوى السواد باستخدام إشارة اختبار تجهيزات توليد ضبط الصورة (PLUGE) والإجراء المحدد في التوصية ITU R BT.814. | |

يصف الجدولان 4 و5 وظائف التحويل من أجل نسق التكميم الإدراكي (PQ) ونسق لوغاريتم غاما الهجين (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 الاثنين. ويوضح الملحق 1 الإعلامي معاني مختلف وظائف التحويل وأين تستخدم في سلسلة نقل الإشارة. ويوفر الملحق 2 الإعلامي معلومات عن المعادلات البديلة التي من شأنها أن تيسر تنفيذ وظائف التحويل هذه.

الجدول 4

وظائف النقل اللا خطي المرجعية لنظام التكميم الإدراكي (PQ)

| المعلمة | القيم |
| --- | --- |
| إشارة الدخل إلى وظيفة التحويل الإلكتروني-البصري (EOTF) للتكميم الإدراكي | القيمة المشفرة PQ اللا خطية.  الوظيفة EOTF تنقل الإشارة PQ اللا خطية إلى ضوء الشاشة. |
| PQ EOTF المرجعية 4a | حيث:  *E'* تشير إلى قيمة اللون اللا خطية *{R', G', B'}* أو *{L', M', S'}* في حيز PQ في المدى [0:1]  *FD* هي نصوع مكونة خطية معروضة *{RD, GD, BD}* أو *YD* أو *ID,* بوحدة cd/m2.4b  *Y* تشير إلى قيمة لون خطية معايرة، في المدى [0:1]  *m*1= 2610/16384 = 0,1593017578125  *m*2= 2523/4096 × 128 = 78,84375  *c*1 = 3424/4096 =0,8359375 = *c*3 − *c*2 + 1  *c*2 = 2413/4096 × 32 = 18,8515625  *c*3 = 2392/4096 × 32 = 18,6875 |
| 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 OOTF المرجعية | *FD* = OOTF[*E*] = G1886 [G709[*E*]]  حيث  *E* = {*RS* أو *GS* أو *BS* أو *YS* أو *IS*} هي الإشارة التي تتحدد بضوء المشهد ومقياس تعرض الكاميرا  القيم *E*، *RS*، *GS*، *BS*، *YS*، *IS* تقع في المدى [0:1] 4c  *E′* هي التمثيل اللا خطي للإشارة *E*  *FD* هي نصوع مكونة خطية معروضة (*RD* أو *GD* أو *BD* أو *YD* أو *ID*)  *FD* = G1886 [G709[*E*]] = G1886 *E′*  *E′* = G709[*E*] = 1,099 (59,5208 *E*)0,45 – 0,099 for 1 ≥ *E* > 0,0003024  = 267,84 *E* for 0,0003024 ≥ *E* ≥ 0  *FD* = G1886[*E'*] = 100 *E′* 2,4 |
| إشارة الدخل إلى وظيفة التحويل البصري-الإلكتروني (OETF) | الضوء الخطي المشهدي.  الوظيفة OETF تنقل الضوء الخطي المشهدي النسبي إلى قيمة إشارة PQ لا خطية. |

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. | حيث:    *E′* هي الإشارة اللا خطية الناتجة (*R'*، *G'*، *B'*) في المدى [0:1]  *FD*، *E*، محددتان في وظيفة التحويل البصري-البصري  *m*1، *m*2، *c*1، *c*2، *c*3 محددة في وظيفة التحويل الإلكتروني-البصري |
| الملاحظة 4a - ينبغي أن تستخدم هذه اللا خطية (وعكسها) بالذات عندما يكون من الضروري التحويل بين التمثيل اللا خطي والتمثيل الخطي.  الملاحظة 4b - في هذه التوصية، عند الإشارة إلى نصوع مكونة لون واحدة (*RD*, *GD*, *BD*)، يعني ذلك نصوع إشارة عديمة اللون مكافئة يكون فيها لمكونات اللون الثلاث نفس القيمة.  الملاحظة 4c - ﻳﻤﻜﻦ اﺧﺘﻴﺎر التقابل بين ﺧﺮج إشارة ﻣﺴﺘﺸﻌﺮ اﻟﻜﺎﻣﻴﺮا والإشارة *E* ﻟﺘﺤﻘﻴﻖ السطوع المرغوب للمشهد. | |

الجدول 5

وظائف التحويل اللا خطي المرجعي لنظام لوغاريتم غاما الهجين (HLG)

| المعلمة | القيم |
| --- | --- |
| إشارة الدخل إلى HLG OETF | الضوء الخطي للمشهد.  الوظيفة OETF تنقل الضوء الخطي للمشهد نسبةً إلى قيمة إشارة لا خطية. |
| الوظيفة المرجعية OETF  لنظام HLG 5a | حيث:  *E* هي الإشارة لكل مكونة لون {*RS*، *GS*، *BS*} نسبة إلى الضوء الخطي للمشهد المقيَّس على المدى [0:1].5b  *E′ هي الإشارة الناتجة اللا خطية* {*R'*، *G'*، *B'*} في المدى [0:1].  0,17883277 = *a*، 4*a ‒* 1 = *b*، 5c *a* ln(4*a*) *‒* 0,5 = *c* |
| إشارة دخل HLG إلى الوظيفة OOTF | الضوء الخطي للمشهد.  الوظيفة OOTF تقيم التقابل بين الضوء الخطي للمشهد النسبي والضوء الخطي للعرض. |

الجدول 5 ( *تتمة*)

|  |  |
| --- | --- |
| المعلمة | القيم |
| HLG لدالة OOTF 5i المرجعية | حيث:  *FD* هي نصوع المكونة الخطية المعروضة {*RD* أو *GD* أو *BD*}، بوحدة cd/m2. 5d  *E* هي إشارة لكل مكون لوني {*Rs*، *Gs*، *Bs*} وتتناسب مع ضوء خطي للمشهد مقيَّس على المدى [1:0].  *YS* هو نصوع المشهد الخطي المقيَّس.  α هو متغير كسب المستخدم بوحدة cd/m2 وهو يمثل ذروة النصوع الاسمي، *LW*، لشاشة في بكسلات عديمة اللون.  γ هي غاما النظام. γ = 1,2 عند نصوع ذروة العرض الاسمي بمقدار 1 000 cd/m2. و‏بالنسبة لعروض ذروة النصوع الاسمية بخلاف cd/m2 1 000‏، ينبغي تعديل غاما النظام وفقاً لصيغ غاما الواردة في الملاحظة ‎5f.5e، 5f، 5g |
| إشارة الدخل إلى HLG EOTF | قيمة مشفرة HLG لا خطية  الوظيفة EOTF تحول الإشارة HLG اللا خطية إلى ضوء شاشة العرض. |
| الوظيفة المرجعية EOTF  لنظام HLG | حيث:  *FD* هي نصوع المكونة الخطية المعروضة {*RD* أو *GD* أو *BD*}، بوحدة cd/m2.  *E′* هي الإشارة اللا خطية {*R'*، *G'*، *B'*} حسبما هي محددة من أجل الوظيفة المرجعية OETF لنظام HLG. 5h  β هو المتغير لرفع مستوى السواد لدى المستخدم.  وتعرَّف دالة OOTF [ ] وفق الوظيفة المرجعية OOTF لنظام HLG.    وقيم المعلمات *a* و*b* و*c* حسبما هي محددة من أجل الوظيفة المرجعية OETF لنظام HLG.  و:  *LW* هي ذروة نصوع العرض الاسمية بوحدة cd/m2 من أجل بكسلات عديمة اللون.  *LB* هي نصوع العرض للون الأسود بوحدة cd/m2. |
| *ملاحظات على الجدول 5*  الملاحظة 5a - ينبغي استخدام عكس اللا خطية هذه عندما يكون من الضروري التحويل بين التمثيل اللا خطي والتمثيل الخطي لضوء المشهد.  الملاحظة 5b - ﻳﻤﻜﻦ اﺧﺘﻴﺎر التقابل بين خرج إشارة مستشعر الكاميرا والإشارة E ﻟﺘﺤﻘﻴﻖ النصوع المرغوب للمشهد.  الملاحظة 5c - تُحسب قيمة كل من b وc بحيث b = 0,28466892 وc = 0,55991073.  الملاحظة 5d - عندما يشار في هذه التوصية إلى مكونة لونية واحدة (RD، GD، BD)، يعني ذلك نصوع إشارة عديمة اللون مكافئة يكون فيها لمكونات اللون الثلاث نفس القيمة.  الملاحظة 5e - 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 5f - أما بالنسبة للشاشات ذات ذروة النصوع الاسمية (*LW*) المختلفة عن 1 000 cd/m2، أو التي تعدَّل فيها ذروة النصوع الاسمية الفعال باستعمال عنصر التحكم في التباين، فينبغي تعديل قيمة غاما للنظام وفقاً للصيغة الواردة أدناه، ويمكن تقريبها إلى ثلاثة أرقام ذات دلالة:    بالنسبة للتطبيقات التي يكون فيها *LW* خارج المدى المتراوح بين 400 cd/m2 و2 000 cd/m2، يمكن استخدام الصيغة التالية:  حيث = 1,111  الملاحظة 5g - يمكن تخفيض قيمة غاما للنظام من أجل ظروف خلفية وحولية أنصع.  الملاحظة 5h - يتوقع، أثناء الإنتاج، أن تتجاوز قيم الإشارة النطاق *E′* = [0,0 : 1,0]. وهذا يوفر فسحة للمعالجة ويتجنب انحطاط 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 الأقل من 0,0 مقتطعة في شاشات العرض المرجعية (حتى لو كانت تمثل ضوءاً "سلبياً") للسماح بتحديد المستوى الأسود للإشارة (*LB*) بشكل صحيح باستخدام إشارات الاختبار المعروفة باسم توليد ضبط الصورة "PLUGE".  الملاحظة 5i - يُشتق مقلوب HLG OOTF كما يلي:    لأغراض المعالجة، عندما يُجهل العرض الفعلي، يمكن إسناد قيمة 1,0 cd/m2 إلى α. | |

ويصف الجدولان 6 و7 مختلف تمثيلات إشارة تباين النصوع واللون، المناسبة لأخذ العينات الفرعية للون، و/أو تشفير المصدر. ويستخدم نسق النصوع 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 النصوع غير الثابت *Y'C'BC'R* 6a

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| المعلمة | قيم PQ | قيم HLG |
| اشتقاق من *R'*، *G'*، *B'* | {*R'*, *G'*, *B'*}=EOTF−1(*FD*)  حيث *FD* = {*RD*, *GD*, *BD*} | {*R'*, *G'*, *B'*}=OETF(*E*)  حيث *E* = {*RS*, *GS*, *BS*} |
| اشتقاق من *Y'* | *Y'* = 0,2627*R'* + 0,6780*G'* + 0,0593*B'* | |

الجدول 6 ( *تتمة*)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| المعلمة | قيم PQ | قيم HLG |
| 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* اللا خطية. | | |

الجدول 7

نسق إشارة *ICTCP* ذات الكثافة الثابتة 7a، 7b

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| المعلمة | قيم PQ | قيم HLG |
| فضاء اللون *L*، *M*، *S* |  | |
| اشتقاق من *L'*، *M'*، *S'***7c** | {*L'*, *M'*, *S'*}=EOTF−1(*FD*)  حيث *FD* = {*LD*, *MD*, *SD*} | {*L'*, *M'*, *S'*}=OETF(*E*)  حيث *E* = {*LS*, *MS*, *SS*} |
| اشتقاق من *I* | *I* = 0,5*L'* + 0,5*M'* | |
| اشتقاق إشارات اختلاف اللون |  |  |
| الملاحظة 7a - لا تَستخدم الرموز *I وCT* و*CP* 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

| المعلمة | القيم | | |
| --- | --- | --- | --- |
| إشارة مشفرة | *R', G', B' أو Y', C'B, C'R, أو I, CT, CP* | | |
| شبيكة أخذ العينات  – *R', G', B', Y', I* | متعامدة ومتكررة في الخط والصورة ومشتركة في الموقع | | |
| شبيكة أخذ العينات  – *C'B, C'R, CT, CP* | متعامدة ومتكررة في الخط والصورة ومشتركة في الموقع.  العينة الأولى (أعلى اليسار) مشتركة في الموقع مع العينة الأولى *Y'* أو *I*. | | |
| النظام 4:4:4 | النظام 4:2:2 | النظام 4:2:0 |
| لكل مكونة نفس عدد العينات الأفقية كما هو الحال بالنسبة للمكونة *Y'* أو *I* | يُقسم إلى عينات فرعية أفقياً بمعامل 2 فيما يتعلق بالمكونة *Y'* أو *I* | يُقسم إلى عينات فرعية أفقياً ورأسياً بمعامل 2 فيما يتعلق بالمكونة *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 و12 بتة

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| المعلمات | القيم | | | |
| إشارة مشفرة | *R', G', B' أو Y', C'B, C'R, أو I, CT, CP* | | | |
| نسق التشفير | *n* = 10، 12 لكل مكونة | | | |
| تكميم المشتقات *R', G', B', Y', I*  *(القيم الناتجة التي تتجاوز مدى البيانات الفيديوية ينبغي أن تختزل بما يناسب مدى البيانات الفيديوية)* | مدى ضيق | | مدى كامل | |
| *D* = Round[(219 × *E*′ + 16) × 2*n*−8] | | *D* = Round [(2*n*-1) × *E*′] | |
| تكميم المشتقات *C'B, C'R, CT, CP*  *(القيم الناتجة التي تتجاوز مدى البيانات الفيديوية ينبغي أن تختزل بما يناسب مدى البيانات الفيديوية)* | *D* = Round[(224 × *E*′ + 128) × 2*n*−8] | | *D =* Round [(2*n*-1) × *E′* + 2*n*-1] | |
| سويات التكميم | تشفير بـــ10 بتات | تشفير بـــ12 بتة | تشفير بـــ10 بتات | تشفير بـــ12 بتة |
| أسود  (*R'* = *G'* = *B'* = *Y'* = *I* = 0)  *DR', DG', DB', DY', DI* | 64 | 256 | 0 | 0 |
| ذروة اسمية  (*R'* = *G'* = *B'* = *Y'* = *I* = 1)  *DR', DG', DB', DY', DI* | 940 | 3760 | 1023 | 4095 |
| عديم اللون  (*C'B* = *C'R* = 0)  *DC'B, DC'R, DCT, DCP* | 512 | 2048 | 512 | 2048 |
| ذروة اسمية  (*C'B* = *C'R* = +0.5)  *DC'B, DC'R, DCT, DCP* | 960 | 3840 | 1023 | 4095 |
| ذروة اسمية  (*C'B* = *C'R* = -0.5)  *DC'B, DC'R, DCT, DCP* | 64 | 256 | 1 | 1 |
| مدى بيانات فيديوية 9a، 9b | 4 إلى 1019 | 16 إلى 4079 | 0 إلى 1023 | 0 إلى 4095 |
| حيث:  Round( x ) = Sign( x ) \* Floor( | x | + 0,5 )  Floor( x ) يمثل أكبر عدد صحيح يقل عن x أو يساويها  Sign( x ) =  الملاحظة 9a - يمكن أن تمتد الإشارات أسفل اللون الأسود (دون الأسود) وأن تتجاوز قيم الذروة الاسمية (فوق الأبيض)، ولكن ليس لها أن تتجاوز مدى البيانات الفيديوية.  الملاحظة 9b - بعض واجهات الصور الرقمية تحتفظ بقيم رقمية، من أجل معلومات التوقيت مثلاً، بحيث يكون المدى الفيديوي المسموح به لهذه الواجهات أضيق من المدى الفيديوي لإشارة المدى الكامل. والتقابل بين صور المدى الكامل والواجهات المقابلة يتوقف على التطبيق المعني. | | | | |

يقدم الجدول 10 تمثيل إشارة النقطة العائمة بطول 16 بتة ‏للتطبيق في تبادل البرامج الدولية ذات المدى الدينامي الواسع (‎HDR).

‏ويمكن تمثيل قيم ألوان ‎*R* ‏و‎*G* ‏و*‎B* ‏التي تتناسب خطيا مع ضوء المشهد (المشهد المشار إليه) أو التي تمثل ضوء العرض المطلق على الشاشة المرجعية (العرض المشار إليه) بقيم النقطة العائمة كما هو موضح في الجدول أدناه؛ علماً بأن هذا التمثيل مستقل عن ‎المدى الدينامي الواسع (HDR) ‏أو المدى الدينامي العادي (‎SDR)، لكن إشارات المدى الدينامي الواسع ‏قادرة على استخدام المزيد من المدى الدينامي المتاح في تمثيل النقطة العائمة.

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)

| المعلمة | القيم |
| --- | --- |
| تمثيل الإشارة | الخطية *R*، *G*، *B* |
| تشفير الإشارة | نسق التبادل البيني الاثنيني لنقطة عائمة بطول 16 بتة لكل معيار IEEE 754-2019 |
| المعايرة | *R = G = B =* 1,0 تمثل المرجع الأبيض للمدى الدينامي الواسع10a، 10b |
| *ملاحظات على الجدول ‎10:*  ‏الملاحظة ‎10a - ‏الأبيض المرجعي ذو المدى الدينامي الواسع (‎HDR) ‏هو مستوى الإشارة الاسمي الذي يتم الحصول عليه من كاميرا ذات مدى دينامي واسع ‎‏وبطاقة بيضاء انعكاسية بنسبة %100 مما يؤدي إلى نصوع اسمي قدره ‎203‏ cd/m2 على شاشة ‎PQ ‏أو على شاشة ‎HLG ‏ذات قدرة نصوع ذروة اسمية تبلغ 1 000‏ cd/m2.‎  ‏الملاحظة ‎10b‏ - من أجل تحسين الدقة بالقرب من اللون الأسود، قد تستخدم بعض الإنتاجات معايرة بحيث ‎R = G = B = 1,0 ‏تمثل اللون الأبيض عند نصوع ‎1,0 ‏ cd/m2 على الشاشة المرجعية‎. | |

الملحق 1  
(إعلامي)  
  
العلاقة بين الوظائف OETF وEOTF وOOTF

تستخدم هذه التوصية بإسهاب المصطلحات التالية:

OETF**:** وظيفة التحويل البصري-الإلكتروني، تحول ضوء المشهد الخطي إلى إشارة فيديوية، 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 خطياً بالضوء الذي تلتقطه الكاميرا. وتطبق بدلاً من ذلك الوظيفة اللا خطية الإجمالية، OOTF. وهذه الوظيفة OOTF "المرجعية" تعوض عن التفاوت في إدراك درجة اللون بين بيئة الكاميرا وبيئة الشاشة. وتمكن مواصفة واستخدام الوظيفة "OOTF المرجعية" الاستنساخ المتسق للصورة من طرف إلى طرف، وهو عنصر هام في الإنتاج التلفزيوني.

A diagram of a diagram

Description automatically generated

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

A diagram of a process

Description automatically generated

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

A diagram of a diagram

Description automatically generated with medium confidence

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

A diagram of a red and blue box

Description automatically generated

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

A diagram of a diagram

Description automatically generated

وظيفتان فقط من الوظائف الثلاث اللا خطية، OETF وEOTF وOOTF، مستقلتان. وفي الترميز الوظيفي (حيث تشير الرموز الذيلية إلى مكونة اللون) تكون:



وهذا أوضح إذا كان التسلسل ممثلاً بالرمز ⊗. وبموجب هذا الترميز، تكون العلاقات الثلاث التالية بين هذه الوظائف اللا خطية الثلاث:



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

حيث:

*V*:قيمة لون لا خطية

*L*:قيمة اللون الخطية المقابلة.

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

ويمكن تمثيل الوظيفة OETF بالمعادلة (2):

 (2)

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)

حيث:

*V*:قيمة لون لا خطية

:قيمة لون لا خطية معايرة تحل 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)

حيث:

*L*:قيمة لون خطية

:قيمة لون خطية معايرة تحل محل *L* في المعادلتين (1) و(2).

ويمكن تحديد المعلمتين *a* و*b* وفقاً للتطبيق المرغوب.

وباستعمال هذه المعادلات، يمكن تحقيق تنفيذ فعلي من خلال تحديد قيم لكل معلمة من المعلمات. وعلى سبيل المثال، قد يلزم إعادة إنتاج إشارة مقيَّسة خطية، وفي هذه الحالة تكون المعلمات للمعادلة (3) كما يلي: *p* = *m* = 0 و*k* = 1. ومن ثم تكون المعلمتان في المعادلة (4) كما يلي: *a* = 1 و*b* = 0. ويمكن تنفيذ زوج عينات للوظيفتين OETF وeotf مع قيمة غاما للنظام تبلغ 1,0 بمثابة نقطة انطلاق، وذلك باستعمال المعادلتين (1) و(2)، بالمعلمات *s* = 1، و*t* = m = 0,2701، و*c* = 0,0729، و*n* = 0,4623.

ــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــ