الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصية ITU-R BT.2100-2
(2018/07)

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

السلسلة BT
الخدمة الإذاعية
(التلفزيونية)

الاتحاد الدولي للاتصالات

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، 2023

© ITU 2023
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.2100-2*

قيم معلمات الصور لأنظمة التلفزيون ذات المدى الدينامي الواسع من أجل الاستعمال في إنتاج البرامج وتبادلها دولياً[1]

المسألة ITU-R 142-2/6

(2018-2017-2016)

جدول المحتويات

الملحق 1 (إعلامي) – العلاقة بين الوظائف OETF وEOTF وOOTF 10

الملحق 2 (إعلامي) – تمثيل معلمات وظيفتي التحويل الإلكتروني-البصري والبصري-الإلكتروني 12

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؛

* أدخلت لجنة الدراسات 6 للاتصالات الراديوية تعديلات صياغية على هذه التوصية في الأعوام 2018 و2019 و2020 و2023 طبقاً للقرار ITU-R 1.

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

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 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 اللاخطي 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 630 nm	0,708	0,292
	أخضر أساسي (G)	وحيد اللون 532 nm	0,170	0,797
	أزرق أساسي (B)	وحيد اللون 467 nm	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 والمحيطية[3a]	رمادي محايد عند D65
نصوع الحولية	$5\ cd/m^2$
نصوع المحيطية	$\geq 5\ cd/m^2$
الإضاءة المحيطة	تجنب سقوط النور على الشاشة
مسافة المشاهدة[3b]	لنسق 1 080 x 1 920: ارتفاع الصورة 3,2 لنسق 2 160 x 3 840: ارتفاعات الصور 1,6 إلى 3,2 لنسق 4 320 x 7 680: ارتفاعات الصور 0,8 إلى 3,2
ذروة نصوع الشاشة [3c]	$\leq 1\ 000\ cd/m^2$
نصوع الشاشة الأدنى (سوية السواد)[3d]	$\geq 0{,}005\ cd/m^2$

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

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.	$E' = \text{OETF}[E] = \text{EOTF}^{-1}[\text{OOTF}[E]] = \text{EOTF}^{-1}[F_D]$ حيث: $\text{EOTF}^{-1}[F_D] = \left(\frac{c_1 + c_2 Y^{m_1}}{1 + c_3 Y^{m_1}} \right)^{m_2}$ $Y = F_D / 10000$ E' هي الإشارة اللاخطية الناتجة (R'، G'، B') في المدى [0:1] F_D، 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 اللاخطية (وعكسها) بالذات عندما يكون من الضروري التحويل بين التمثيل اللاخطي والتمثيل الخطي.

الملاحظة 4b – في هذه التوصية، عند الإشارة إلى نصوع مكونة لون واحدة (R_D, G_D, B_D)، 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 اللاخطي 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 لاخطية.
الوظيفة المرجعية OETF لنظام HLG[5a]	$E' = \text{OETF}[E] = \begin{cases} \sqrt{3E} & 0 \le E \le 1/12 \\ a \cdot \ln(12E - b) + c & 1/12 < E \le 1 \end{cases}$ حيث: E هي الإشارة لكل مكونة لون $\{R_S، G_S، B_S\}$ نسبة إلى الضوء الخطي للمشهد المقيَّس على المدى [0:1].[5b] E' هي الإشارة الناتجة اللاخطية $\{R'، G'، B'\}$ في المدى [0:1]. [5c] $a = 0,17883277$، $b = 1 - 4a$، $c = 0,5 - a \ln(4a)$
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	$F_D = \text{OOTF}[E] = \alpha Y_S^{\gamma-1} E$ $R_D = \alpha Y_S^{\gamma-1} R_S$ $G_D = \alpha Y_S^{\gamma-1} G_S$ $B_D = \alpha Y_S^{\gamma-1} B_S$ $Y_s = 0.2627 R_S + 0.6780 G_S + 0.0593 B_S$ حيث: F_D هي نصوع المكونة الخطية المعروضة $\{R_D$ أو G_D أو $B_D\}$، بوحدة cd/m^2. [5d] E هي إشارة لكل مكون لوني $\{Rs، Gs، Bs\}$ وتتناسب مع ضوء خطي للمشهد مقيَّس على المدى $[0:1]$. Y_S هو نصوع المشهد الخطي المقيَّس. α هو متغير كسب المستخدم بوحدة cd/m^2 وهو يمثل نصوع الذروة الاسمي، L_W، لشاشة في بكسلات عديمة اللون. γ هي غاما النظام. γ = 1,2 عند نصوع ذروة العرض الاسمي بمقدار 1 000 cd/m^2. [5e، 5f، 5g]
إشارة الدخل إلى HLG EOTF	قيمة مشفرة HLG لاخطية الوظيفة EOTF تحول الإشارة HLG اللاخطية إلى ضوء شاشة العرض.
الوظيفة المرجعية EOTF لنظام HLG	$F_D = \text{EOTF}[\max(0, (1-\beta)E' + \beta)]$ $= \text{OOTF}[\text{OETF}^{-1}[\max(0, (1-\beta)E' + \beta)]]$ حيث: F_D هي نصوع المكونة الخطية المعروضة $\{R_D$ أو G_D أو $B_D\}$، بوحدة cd/m^2. E' هي الإشارة اللاخطية $\{R'، G'، B'\}$ 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. $\text{OETF}^{-1}[x] = \begin{cases} x^2/3 & 0 \le x \le 1/2 \\ \{\exp((x-c)/a) + b\}/12 & 1/2 < x \le 1 \end{cases}$ وقيم المعلمات a وb وc حسبما هي محددة من أجل الوظيفة المرجعية OETF لنظام HLG. و: $\beta = \sqrt{3(L_B / L_W)^{1/\gamma}}$ L_W هي ذروة نصوع العرض الاسمية بوحدة cd/m^2 من أجل بكسلات عديمة اللون. L_B هي نصوع العرض للون الأسود بوحدة cd/m^2.

ملاحظات على الجدول 5

الملاحظة 5a – ينبغي استخدام عكس اللاخطية هذه عندما يكون من الضروري التحويل بين التمثيل اللاخطي 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 (R_D، G_D، B_D)، 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 إنارة الذروة الاسمية (L_W) التي تزيد عن 1 000 cd/m^2، أو التي ينخفض فيها نصوع الذروة الاسمية الفعال باستعمال عنصر التحكم في التباين، فينبغي تعديل قيمة غاما للنظام وفقاً للصيغة الواردة أدناه[2]، ويمكن تقريبها إلى ثلاثة أرقام ذات دلالة:

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

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 (L_B) بشكل صحيح باستخدام إشارات الاختبار المعروفة باسم توليد ضبط الصورة "PLUGE".

الملاحظة 5i – يُشتق مقلوب HLG OOTF كما يلي:

$$R_S = \left(\frac{Y_D}{\alpha}\right)^{(1-\gamma)/\gamma} \frac{R_D}{\alpha}$$
$$G_S = \left(\frac{Y_D}{\alpha}\right)^{(1-\gamma)/\gamma} \frac{G_D}{\alpha}$$
$$B_S = \left(\frac{Y_D}{\alpha}\right)^{(1-\gamma)/\gamma} \frac{B_D}{\alpha}$$
$$Y_D = 0.2627R_D + 0.6780G_D + 0.0593B_D$$

لأغراض المعالجة، عندما يُجهل العرض الفعلي، يمكن إسناد قيمة 1,0 cd/m^2 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'	$\{R', G', B'\} = \mathrm{EOTF}^{-1}(F_D)$ حيث $F_D = \{R_D, G_D, B_D\}$	$\{R', G', B'\} = \mathrm{OETF}(E)$ حيث $E = \{R_S, G_S, B_S\}$
اشتقاق من Y'	$Y' = 0{,}2627R' + 0{,}6780G' + 0{,}0593B'$	
اشتقاق إشارات اختلاف اللون	$C'_B = \dfrac{B' - Y'}{1.8814}$ $C'_R = \dfrac{R' - Y'}{1.4746}$	

الملاحظة 6a – لغرض الاتساق مع الاستخدام السابق للمصطلحات، تستخدم الفتحة في الرموز Y' وC'_B وC'_R للإشارة إلى أنها مشتقة من Y وB وR اللاخطية.

[2] بالنسبة للتطبيقات التي يكون فيها L_W خارج المدى المتراوح بين 400 cd/m^2 و2 000 cd/m^2، يمكن استخدام الصيغة التالية:
$\gamma = 1.2 * \kappa^{\mathrm{Log}_2(L_W/1000)}$ حيث κ = 1,111.

الجدول 7

نسق إشارة $ICTCP$ ذات الكثافة الثابتة[7a، 7b]

المعلمة	قيم PQ	قيم HLG
فضاء اللون L، M، S	$L = (1688R + 2146G + 262B)/4096$ $M = (683R + 2951G + 462B)/4096$ $S = (99R + 309G + 3688B)/4096$	
اشتقاق من L'، M'، S'[7c]	$\{L', M', S'\} = \text{EOTF}^{-1}(F_D)$ حيث $F_D = \{L_D, M_D, S_D\}$	$\{L', M', S'\} = \text{OETF}(E)$ حيث $E = \{L_S, M_S, S_S\}$
اشتقاق من I	$I = 0{,}5L' + 0{,}5M'$	
اشتقاق إشارات اختلاف اللون	$C_T = (6610L' - 13613M' + 7003S')/4096$ $C_P = (17933L' - 17390M' - 543S')/4096$	$C_T = (3625L' - 7465M' + 3840S')/4096$ $C_P = (9500L' - 9212M' - 288S')/4096$

الملاحظة 7a – لا تَستخدم الرموز I وC_T وC_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 وS إلى ضوء الشاشة وضوء المشهد، على التوالي.

الجدول 8

أخذ العينات الفرعية للألوان

المعلمة	القيم		
إشارة مشفرة	R', G', B' or $Y', C'_B, C'_R,$, or I, C_T, C_P		
شبيكة أخذ العينات – R', G', B', Y', I	متعامدة ومتكررة في الخط والصورة ومشتركة في الموقع		
شبيكة أخذ العينات – C'_B, C'_R, C_T, C_P	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' or Y', C'B, C'R, , or 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	
	$D = \text{Round}\,[(219 \times E' + 16) \times 2^{n-8}]$		$D = \text{Round}\,[(2^n\text{-}1) \times E']$	
تكميم المشتقات *C'B, C'R, CT, CP* (القيم الناتجة التي تتجاوز مدى البيانات الفيديوية ينبغي أن تختزل بما يناسب مدى البيانات الفيديوية)	$D = \text{Round}\,[(224 \times E' + 128) \times 2^{n-8}]$		$D = \text{Round}\,[(2^n\text{-}1) \times E' + 2^{n-1}]$	
سويات التكميم	تشفير بـ 10 بتات	تشفير بـ 12 بتة	تشفير بـ 10 بتات	تشفير بـ 12 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:

$$\text{Round}(x) = \text{Sign}(x) * \text{Floor}(|x| + 0.5)$$

Floor(x) يمثل أكبر عدد صحيح يقل عن x أو يساويها

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

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 من 16 بتة. لا 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	نقطة عائمة من 16 بتة لكل معيار IEEE 754-2008.
معايرة من أجل إشارات تتعلق بالعرض	$R = G = B = 1,0$ تمثل 1,0 cd/m^2 في شاشة العرض المرجعية.
معايرة من أجل إشارات تتعلق بالمشهد	$R = G = B = 1,0$ تمثل المستوى الأقصى لانتشار الأبيض.

الملحق 1
(إعلامي)

العلاقة بين الوظائف OETF وEOTF وOOTF

تستخدم هذه التوصية بإسهاب المصطلحات التالية:

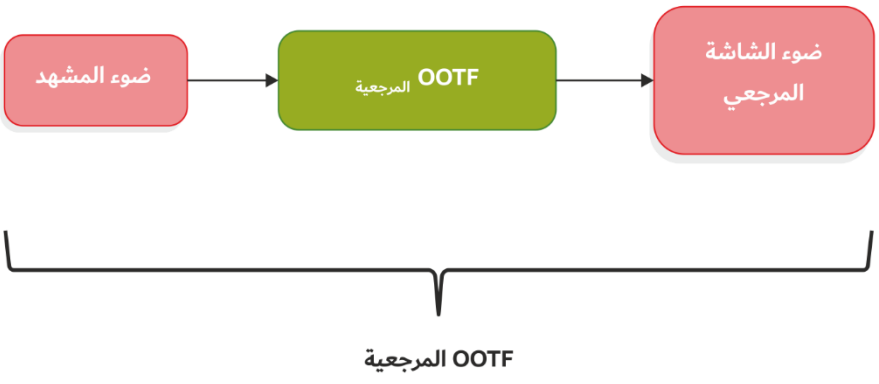
OETF: وظيفة التحويل البصري–الإلكتروني، تحول ضوء المشهد الخطي إلى إشارة فيديوية، داخل الكاميرا عادة.

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

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

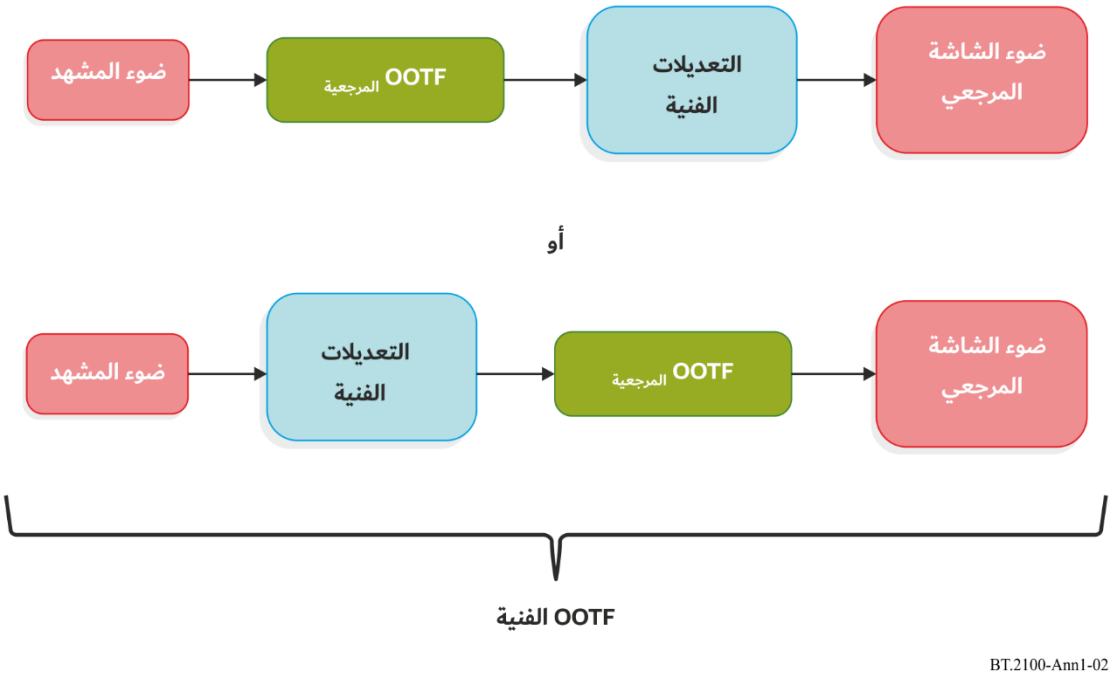
وهذه الوظائف مترابطة، ولذلك فإن اثنتين فقط من ثلاثة مستقلتان. ولدى معرفة أي اثنتين منها يمكن حساب الوظيفة الثالثة. ويشرح هذا القسم كيف تظهر هذه الوظائف في أنظمة التلفزيون وكيفية ارتباطها.

وفي أنظمة التلفزيون، لا يرتبط الضوء المعروض خطياً بالضوء الذي تلتقطه الكاميرا. وتطبق بدلاً من ذلك الوظيفة اللاخطية 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.



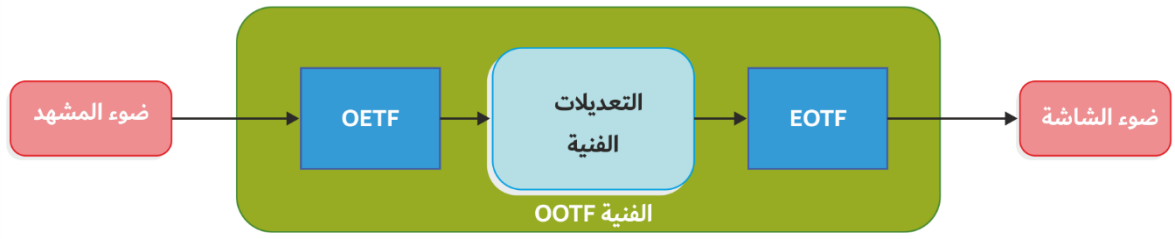
BT.2100-Ann1-01

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.



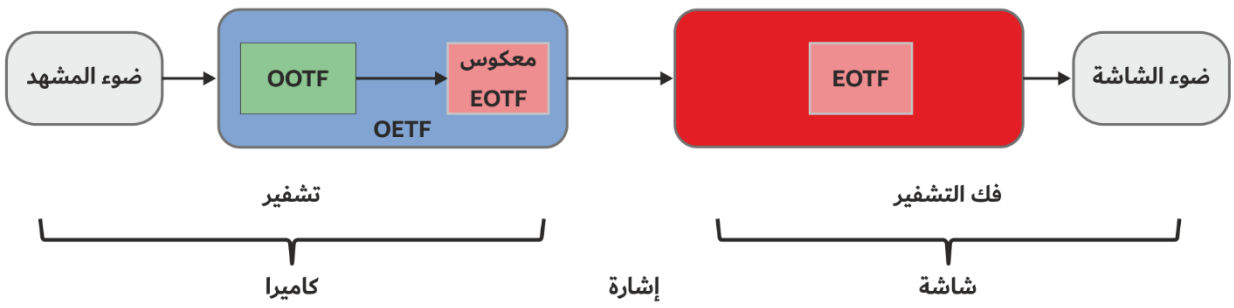
BT.2100-Ann1-02

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



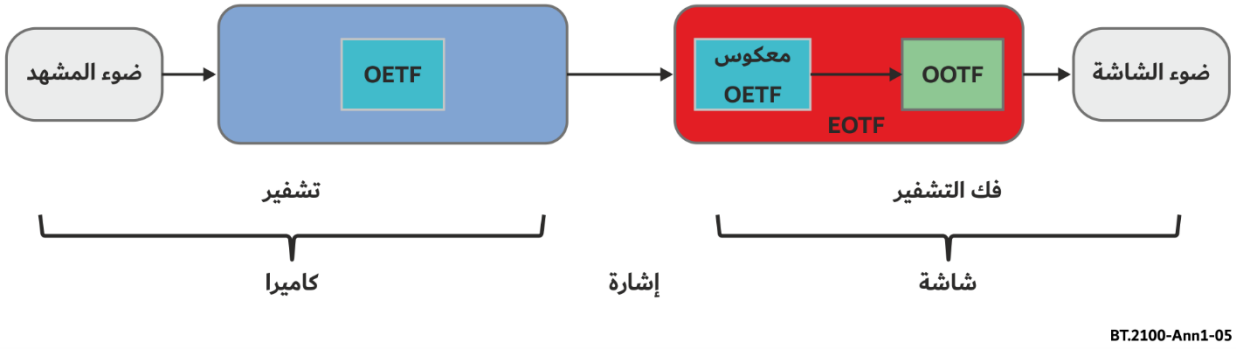
BT.2100-Ann1-03

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.



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

$$\mathrm{OOTF}_R(R,G,B)=\mathrm{EOTF}_R(\mathrm{OETF}_R(R,G,B))$$
$$\mathrm{OOTF}_G(R,G,B)=\mathrm{EOTF}_G(\mathrm{OETF}_G(R,G,B))$$
$$\mathrm{OOTF}_B(R,G,B)=\mathrm{EOTF}_B(\mathrm{OETF}_B(R,G,B))$$

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

$$\mathrm{OOTF}=\mathrm{OETF}\otimes\mathrm{EOTF}$$
$$\mathrm{EOTF}=\mathrm{OETF}^{-1}\otimes\mathrm{OOTF}$$
$$\mathrm{OETF}=\mathrm{OOTF}\otimes\mathrm{EOTF}^{-1}$$
$$\mathrm{OOTF}^{-1}=\mathrm{EOTF}^{-1}\otimes\mathrm{OETF}^{-1}$$
$$\mathrm{EOTF}^{-1}=\mathrm{OOTF}^{-1}\otimes\mathrm{OETF}$$
$$\mathrm{OETF}^{-1}=\mathrm{EOTF}\otimes\mathrm{OOTF}^{-1}$$

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):

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

حيث:

V: قيمة لون لاخطية

L: قيمة اللون الخطية المقابلة.

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

ويمكن تمثيل الوظيفة OETF بالمعادلة (2):

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

وجدير بالملاحظة أنه إذا أعطيت المعلمات s وt وc وn وm 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):

$$\hat{V}=\frac{V-p}{k}+m \tag{3}$$

حيث:

V: قيمة لون لاخطية

$\hat{V}$: قيمة لون لاخطية معايرة تحل محل V في المعادلتين (1) و(2).

ويمكن تحديد المعلمتين k وp وفقاً للتطبيق المرغوب.

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

$$\hat{L}=\frac{L-b}{a} \tag{4}$$

حيث:

L: قيمة لون خطية

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

ويمكن تحديد المعلمتين a وb 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 $s = 1$، وt = m = 0,2701، وc = 0,0729، وn = 0,4623.

_____