

التوصية ITU-R BT.2163-0

(2023/11)

السلسلة BT: الخدمة الإذاعية (التلفزيونية)

خوارزمية القياس الموضوعي لتقييم
نصوع التلفزيون ذي المدى الدينامي العالي

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 المدى 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 ITU-R 1. 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 <https://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 التحديد الراديوي للموقع 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 ITU-R 1.

النشر الإلكتروني
جنيف، 2024

© ITU 2024

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.2163-0

خوارزمية القياس الموضوعي لتقييم نصوع التلفزيون ذي المدى الدينامي العالي¹

(المسألة ITU-R 142-3/6)

(2023)

مجال التطبيق

تحدد هذه التوصية خوارزمية قياس لغرض تحديد مستوى الصورة، استناداً إلى متوسط نصوع الصورة، يمكن أن تكون مفيدة لتقييم نصوع صور فردية. ومن القياسات الأخرى المستندة إلى مستوى الصورة، مستوى الصورة الزمني والاستجابة لمستوى الصورة، والتي يمكن أن تكون مفيدة لنمذجة استجابة النظام البصري البشري لتتابع من الصور.

كلمات أساسية

قياس فيديوي، نصوع، إنتاج تلفزيوني، مدى دينامي عالٍ (HDR)، تلفزيون، تلفزيون ذو مدى دينامي عالٍ (HDR-TV)، تبادل دولي للبرامج إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

- (أ) أن التلفزيون ذا المدى الدينامي العالي (HDR-TV) يوفر مدئاً دينامياً واسعاً جداً لمستويات نصوع الصورة؛
- (ب) أن القفزات الكبيرة في النصوع يمكن أن تكون مفاجئة للمشاهدين؛
- (ج) أن مراقبة نصوع الصورة تسهل فهم تجربة المشاهد؛
- (د) أن حالة تكيف النظام البصري البشري تتأثر بالتتابع الزمني للصور؛
- (هـ) أن التوصية ITU-R BT.2100 تحدد نسقين من أشكال التلفزيون HDR-TV، هما التكميم الإدراكي (PQ) ولوغاريتم غاما الهجين (HLG)، وأن الإنتاج في كلا النسقين متوقع؛
- (و) أن ذروة النصوع الاسمية البالغة 1000 cd/m^2 تُستعمل عادةً للشاشات المرجعية ذات النسق HLG؛
- (ز) أن ظروف البيئة المحيطة المرجعية محددة في الجدول 3 من التوصية ITU-R BT.2100؛
- (ح) أن طرائق القياس الفيديوي الحالية المستخدمة في الإنتاج لا توفر قيمةً عدديةً تمثل نصوع الصورة الذاتي؛
- (ط) أن طرائق القياس الموحدة مفيدة لتسهيل تقييم النصوع الفيديوي الذاتي للبرامج،

إذ تدرك

أن استعمال هذه الخوارزميات سيكمل المراقبة التقليدية لشكل الموجة بدلاً من أن يحل محلها.

¹ هذه التوصية ليست بديلاً عن الإرشادات الواردة في التوصية ITU-R BT.1702 المتعلقة المتعلقة بحماية الفئات الضعيفة من المشاهدين المعرضين لنوبة الصرع بسبب الحساسية للضوء والذين هم عرضة لنوبات الصرع الناجمة عن الأضواء الساطعة، بما في ذلك أنواع معينة من الصور التلفزيونية الساطعة

² قد تحتاج الخوارزميات إلى مراجعة بعد اختبارها على مجموعة أوسع من الصور المتحركة وعند اختبارها بالاقتران مع مواصفات القياس التي هي قيد الإعداد حالياً.

توصي

- 1 بإمكانية استخدام خوارزمية مستوى الصورة المحددة في القسم 1، عندما يكون قياس النصوص الذاتي لصورة ذات مدى دينامي عالٍ، منتجة وفقاً للتوصية ITU-R BT.2100، ضرورياً لتسهيل إنتاج البرامج وتبادلها؛
- 2 بإمكانية استخدام خوارزمية قياس مستوى الصورة الزمني، المحددة في الفقرة 2، لتقييم مساهمة تتابع صور في تكيف المشاهد؛
- 3 بأن التقريب لاستجابة العين، أي الاستجابة لمستوى الصورة، المحدد في الفقرة 3، يمكن أن يكون مفيداً لتقييم أهمية التغيرات في النصوص في برنامج ما،

توصي كذلك

- 1 بالألا تُستخدم هذه التوصية كأداة في تنظيم النصوص أو فرض قيود على المشغلين أو الحد من إنشاء المحتوى؛
- 2 بأنه نظراً للتحقق المحدود من الخوارزميات باستخدام الصور المتحركة، قد يرغب قطاع الاتصالات الراديوية في أن ينظر في إجراء تحديثات وتحسينات مبكرة لهذه التوصية.

1 خوارزمية قياس مستوى الصورة

يحدد هذا القسم خوارزمية قياس مستوى الصورة (IL)، التي قد تكون مفيدة لتقييم نصوص الصورة الإجمالي. والخوارزمية IL هي أساس المقاييس الأخرى المحددة في هذه التوصية في الفقرتين 2 و3.

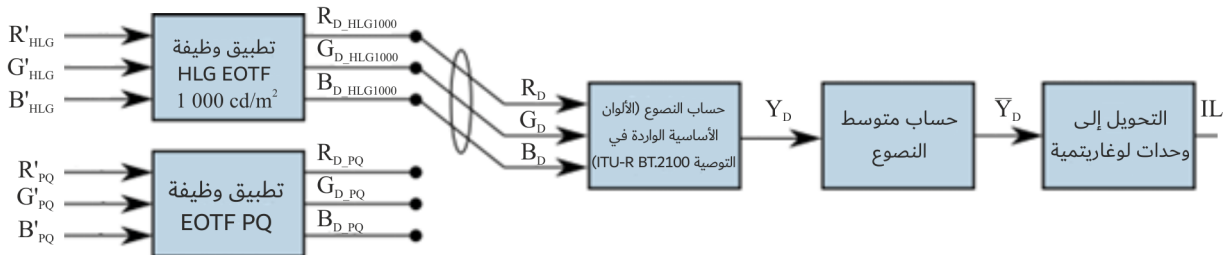
ودخل خوارزمية القياس IL هو الإشارة HLG أو PQ اللاخطية، $R'G'B'$ ، في المدى [1:0] على النحو الوارد في التوصية ITU-R BT.2100.

وتتألف الخوارزمية من أربع مراحل:

- 1 التحويل إلى إضاءة العرض الخطية؛
 - 2 حساب مكون النصوص؛
 - 3 حساب متوسط نصوص شاشة العرض؛
 - 4 التحويل إلى وحدات لوغاريتمية.
- ويبين الشكل 1 مخططاً وظيفياً للخوارزمية.

الشكل 1

مخطط وظيفي يبين خوارزمية قياس مستوى الصورة



1.1 التحويل إلى إضاءة العرض الخطية

بالنسبة لإشارات لوغاريتم غاما المهجين (HLG) $R'G'B'_{HLG}$ ، تُطبق الوظيفة HLG EOTF المحددة في الجدول 5 الوارد في التوصية ITU-R BT.2100، باستخدام قيمة 1,2 من أجل المتغير γ على النحو المحدد في الملاحظة 5 وفي الجدول 5 من التوصية ITU-R BT.2100 فيما يتعلق بشاشة عرض ذات نصوع أقصى اسمي قدره $1\ 000\ \text{cd/m}^2$. والإشارة الناتجة هي الضوء الخطي لشاشة العرض $R_D G_D B_D_{HLG}$ في المدى $[1\ 000:0]\ \text{cd/m}^2$.

وبالنسبة لإشارات التكميم الإدراكي (PQ) $R'G'B'_{PQ}$ ، تطبق الوظيفة PQ EOTF المحددة في الجدول 4 الوارد في التوصية ITU-R BT.2100. والإشارة الناتجة هي الضوء الخطي لشاشة العرض $R_D G_D B_D_{PQ}$ في المدى $[1\ 000:0]\ \text{cd/m}^2$.

ويُشار فيما بعد إلى مكون إشارات الضوء الخطي لشاشة العرض بوصفها $R_D G_D B_D$ ، بغض النظر عما إذا كان مصدر الإشارة HLG أو PQ.

2.1 حساب مكون النصوع

تُحسب إشارة النصوع الخطي المعروضة Y_D باستعمال المعادلة

$$Y_D = 0.2627R_D + 0.6780G_D + 0.0593B_D$$

ويرد في الملحق 1 وصف لطريقة تقريبية.

3.1 حساب متوسط نصوع شاشة العرض

ثم يُحسب متوسط نصوع شاشة العرض \bar{Y}_D للرتل الفيديوي بوحدات cd/m^2 .

$$\bar{Y}_D = \frac{1}{H \times V} \sum_{h=0}^{H-1} \sum_{v=0}^{V-1} Y_D(h, v)$$

حيث:

$Y_D(h, v)$: قيمة النصوع الخطي لشاشة العرض بالبيكسل في الوضع الأفقي h ، الوضع الرأسي v

H : عدد البيكسلات الأفقية

V : عدد البيكسلات الرأسية.

4.1 التحويل إلى وحدات لوغاريتمية

يحوّل متوسط نصوع الشاشة بوحدة cd/m^2 إلى وحدات لوغاريتمية أساسها 2 بقيمة معايرة تبلغ $1\ \text{cd/m}^2$. ملاحظة - يُنتج متوسط نصوع الشاشة البالغ $1\ \text{cd/m}^2$ قيمة IL تساوي صفراً.

$$IL = \log_2 \frac{\bar{Y}_D}{1}$$

وترد في الملحق 2 بحوث أساسية عن هذه الخوارزمية.

2 خوارزمية المستوى الزمني للصورة

يؤثر عرض تتابع الصور على حالة التكيف لدى المراقب البشري وبالتالي على التأثير المدرك لمستوى الصورة. وقد يكون المستوى الزمني للصورة (TIL)³ مفيداً لتقييم نصوع الصورة مع مرور الوقت. ويُحسب المستوى TIL على النحو التالي:

³ لم يتم التحقق من خوارزمية TIL إلا في ظل ظروف محدودة باستخدام محتوى صورة سكوني في الغالب مثل تلك الموصوفة في الملحق 4. وقد تحتاج خوارزمية TIL إلى المراجعة بعد اختبارها على مجموعة أوسع من الصور المتحركة.

$$TIL(t) = \begin{cases} IL(t) & \text{if } t = 0 \\ TIL(t-1) \left(1 - \frac{1}{\tau+1}\right) + IL(t) \left(\frac{1}{\tau+1}\right) & \text{if } t > 0 \end{cases}$$

حيث t هو رقم الرتل الذي يبدأ بعدد 0، و τ هو الوقت المميز للاضمحلال، وهو مقدار ثابت يضبط على:

$$p(t) = \begin{cases} 1 & \text{if } t = 0 \\ IL(t) - TIL(t-1) & \text{if } t > 0 \end{cases}$$

$$\tau = \begin{cases} 22 \frac{f}{24} & \text{if } p(t) \geq 0 \\ 800 \frac{f}{24} & \text{if } p(t) < 0 \end{cases}$$

حيث:

f : معدل الأرتال (بوحدة Hz) للفديو.

ويبين الملحق 3 اشتقاق الشكل الوظيفي للخوارزمية TIL، ويرد وصف اختيارات قيمة وقت الاضمحلال في الملحق 4.

3 خوارزمية الاستجابة لمستوى الصورة

تُستعمل الاستجابة لمستوى الصورة (ILR) لنمذجة استجابة النظام البصري البشري لنصوع الصورة. وقد تكون مفيدة في تقييم المستوى اللحظي لانزعاج المشاهد نتيجة التغيرات في مستوى الصورة، عند تغيير اللقطة مثلاً. وهي لا تقوم بنمذجة اضمحلال الانزعاج الذاتي بعد التغير في درجة النصوع. غير أنها يمكن أن توفر مدخلاً مفيداً لأجهزة القياس التي يمكن، عند دمجها مع القياسات الأخرى المحددة في هذه الوثيقة، أن تقوم بنمذجة هذا الاضمحلال. ويعتمد ذلك على نصوع الصورة ومستوى تكيف العين. وفي بيئة مرجعية وفقاً للتوصية ITU-R BT.2100، يمكن تقريب هذه الاستجابة باستعمال التكميم IL و TIL على النحو التالي:

$$ILR = \frac{(2^{IL})^{n_c}}{(2^{IL})^{n_c} + (2^{TIL})^{n_c}}$$

حيث:

ILR : الاستجابة التقريبية للنظام البصري البشري

n_c : ثابت يساوي 0,57.

الملحق 1

(إعلامي)

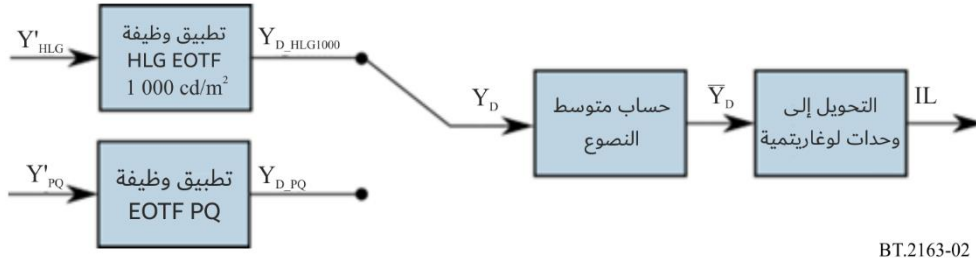
تقريب حساب نصوع شاشة العرض من أجل التنفيذ المبسط للعتاد

يصف هذا الملحق طريقة تقريبية لحساب مكون نصوع الشاشة، Y_D ، تُبسّط تنفيذ خوارزمية IL الموصوفة في الفقرة 1. وعندما تكون موارد العتاد مقيدة، يمكن تنفيذ هذه الطريقة في الأجهزة التي تُستخدم للمساعدة البصرية فقط. وقد تؤدي الألوان المشبعة إلى انخفاض قيم القياس باستخدام هذا التقريب. وقد لا تكون الأجهزة التي تستخدم هذه الطريقة مناسبةً للتحليل العددي لقيم IL، وبالتالي لا تحتاج إلى تسجيل قيم IL.

ويبين الشكل 2 مخططاً وظيفياً للخوارزمية. ودخلها هو إشارة HLG أو PQ luma لا خطية، Y' ، في المدى [1:0]. وإذا كانت الإشارة هي IC_{TCP} ، يمكن استعمال الإشارة I بدلاً من الإشارة Y' في المخطط أدناه.

الشكل 2

مخطط إجمالي وظيفي يبين خوارزمية قياس IL التقريبية



BT.2163-02

التحويل إلى الضوء الخطي⁴ التقريبي لشاشة العرض

بالنسبة لإشارات لوغاريتم غاما المهجين Y'_{HLG} ، تُطبق الوظيفة HLG EOTF المحددة في الجدول 5 الوارد في التوصية ITU-R BT.2100، على الإشارة Y'_{HLG} مباشرةً باستخدام قيمة 1,2 من أجل γ على النحو المحدد في الملاحظة 5 في الجدول 5 من التوصية ITU-R BT.2100 فيما يتعلق بشاشة عرض ذات نصوع أقصى اسمي قدره $1\ 000\ \text{cd/m}^2$. وتقارب الإشارة الناتجة الضوء الخطي لشاشة العرض $Y_{D,HLG}$ في المدى $[1\ 000:0]\ \text{cd/m}^2$.

وبالنسبة لإشارات التكميم الإدراكي Y'_{PQ} ، تُطبق الوظيفة PQ EOTF المحددة في الجدول 4 الوارد في التوصية ITU-R BT.2100، على الإشارة Y'_{PQ} مباشرةً. وتقارب الإشارة الناتجة الضوء الخطي لشاشة العرض $Y_{D,PQ}$ في المدى $[1\ 000:0]\ \text{cd/m}^2$.

ويُشار فيما بعد إلى إشارة الضوء الخطي التقريبي لشاشة العرض باسم Y_D ، بغض النظر عما إذا كان مصدر الإشارة HLG أو PQ.

ثم تُستخدم القيمة التقريبية Y_D في الحسابات المتبقية الموصوفة في الفقرتين 2.1 و 3.1.

الملحق 2

(إعلامي)

المقاييس الموضوعية لقياس النصوع في التلفزيون ذي المدى الدينامي العالي

يصف هذا الملحق البحوث الأساسية التي أنارت الطريق أمام تطوير خوارزمية مستوى الصورة الموصوفة في الفقرة 1. وبعد نظرة عامة عن العمل ذي الصلة، يوصف اختبار ذاتي يحدد القيم التي يتعين استعمالها كبيانات نصوع لمجموعة من صور الاختبار. ثم تُستخدم هذه القيم لاختبار عدد من المقاييس الموضوعية المحتملة لقياس نصوع الصورة.

الأعمال ذات الصلة

هناك مجموعة واسعة من الأعمال بشأن إدراك النصوع والتكيف معه، وهذا موضح في الورقة البيضاء رقم 341 هيئة الإذاعة البريطانية (BBC) [1].

⁴ جدير بالملاحظة أنه لحساب نصوع شاشة العرض بدقة، تُطبق الوظيفتان EOTF الواردتان في التوصية ITU-R BT.2100 على مكونات الإشارة $R'G'B'$ وليس على المكون luma كما هو موضح هنا.

تجربة لتحديد قيم النصوص لصور الاختبار

يشير مصطلح النصوص إلى "درجة ظهور الضوء في منطقة ما" [2]، (صفحة 69). وهو يختلف عن الإضاءة التي تتعلق بالانعكاس الظاهري لجسم ما، بغض النظر عن كيفية إضاءته [2]، (صفحة 70). والنصوص هو كمية ذاتية لا يمكن قياسها مباشرة، لذلك، وُضعت منهجية اختبار ذاتية لإنشاء مجموعة من قياسات النصوص الحقيقية الأساسية. والهدف من ذلك إنشاء مقياس موضوعي للنصوص يطابق النتائج الذاتية قدر الإمكان، ويستند إلى قيم النصوص المعروضة.

وطلب من المشاركين في الاختبار ضبط نصوص المربع الرمادي حتى يتطابق مع النصوص العام المدرك لصورة الاختبار. ونصوص المربع الرمادي معروف ويمكن استعماله كقيمة عددية تمثل نصوص الصورة. وتمكن المشاركون من التبديل بحرية بين صورة الاختبار والمربع الرمادي كلما رأوا ذلك ضرورياً.

وعُرضت صورة الاختبار والمربع الرمادي على شاشة عرض SIM2 HDR47E باستخدام أسلوب LogLUV المعايير. وتراوحت مستويات المربع الرمادي بين 0 و 4 000 cd/m^2 ، مع 400 خطوة تخضع لدالة أسية مما يؤدي إلى حجم خطوة $3,9 \times 10^{-10} cd/m^2$ عند اللون الأسود و 50 cd/m^2 عند الطرف العلوي. وعلى غرار جميع الشاشات LCD، فإن شاشة العرض SIM2 لا يمكنها، عند عرض شاشة كاملة بلون واحد، عرض نصوص إشارة الدخل بدقة، خاصةً عند مستويات النصوص العالية. وتم تسجيل النصوص الفعلي لشاشة العرض لمستويات إشارة دخل المربع الرمادي على فواصل تبلغ 10 cd/m^2 ، مع مقابلة القيم المتوخاة للمربع الرمادي بالقيم المقاسة (المستكملة داخلياً حسب الحاجة) قبل عرض النتائج. واستُخدم مصباحان LED قابلان للتعديل لإضاءة الحائط خلف شاشة العرض بحيث يبلغ قياس الضوء المنعكس من الحائط D65 باللون الأبيض المقدار 5 cd/m^2 . ووُضعت الأضواء خلف الشاشة، وتم توجيهها نحو الحائط، لتدنية سقوط الضوء على الشاشة مباشرةً. ولم يكن هناك مصادر إضاءة أخرى في الغرفة. وتُعرض تشكيلة الاختبار في الشكل 3.

الشكل 3

إعداد غرفة الاختبار



الشكل 4

الصور المستخدمة في الاختبارات



BT.2163-04

ملاحظة بشأن الشكل 4: الصور من 1 إلى 12 مأخوذة من [3] والصورة 13 من [4]⁵ والصورتان 14 و15 من إدارة البحث والتطوير بالهيئة BBC.

ولا يتميز دخل LogLUV في شاشة العرض SIM2 بالتحكم في النصب، لذا لا يمكن استعمال إشارة PLUGE عادية لمعايرة مستوى اللون الأسود. ومن ثم، استُخدمت مجموعة من إشارات الاختبار التي تم إنشاؤها خصيصاً لهذا الغرض، والتي شملت اللون الأسود الفاتح والأسود الداكن كمدى لمستويات اللون الأسود للحصول على مستوى التخالف المطلوب، وأضيف هذا التخالف إلى صور الاختبار قبل عرضها. وتبين أن تخالف مستوى اللون الأسود هو $0,005 \text{ cd/m}^2$. وهذا أقل مما هو متوقع إذا وُضعت الإضاءة أمام الشاشة وليس خلفها.

وقد استُخدمت خمس عشرة صورة في هذه الدراسة وهي موضحة في الشكل 4. وتم التقاط أول 12 صورة من مسح التصوير الفوتوغرافي HDR لمارك فيرتشايلد [3]، وتم استكمالها بصورة واحدة (رقم 13) من جامعة شتوتغارت للإعلام [4] وصورتين من إعداد إدارة البحث والتطوير بالهيئة BBC (الرقمان 14 و15). وبما أن المدى الدينامي للصور غير المعالجة كان أكبر من المدى المتوقع لاستعماله في التلفزيون ذي المدى الدينامي العالي، تتم معايرة الصور لتكون ممتعة من الناحية الجمالية (وفقاً لرأي عدد قليل من المشاهدين الخبراء) مع مدى دينامي أصغر. وهذا يعادل ضبط فتحة عدسة الكاميرا. وشملت مجموعة الاختبارات صوراً

⁵ تم استنساخ هذه الصور بإذن من مارك فيرتشايلد.

⁶ تم استنساخ هذه الصورة بإذن من جامعة شتوتغارت للإعلام.

ساطعة وداكنة، والعديد من الصور التي تحتوي على مناطق من الضوء والظل. وحُوِّلت الصور إلى الألوان الأساسية للتوصيتين ITU-R BT.2100/BT.2020 وعرضت باستبانة قدرها 1 080×1 920 بكسل وفقاً للاستبانة القصوى لشاشة العرض.

وتُعرض كل صورة بأربعة مستويات من أقصى نصوص لشاشة العرض، 500 و 1 000 و 2 000 و 4 000 cd/m²، باستخدام نهج يُشار إليه في المشهد لقياس النصوص. وطُبِّقت دالة غاما مناسبة للنصوص الأقصى لشاشة العرض، وفقاً للملاحظة 5 في الجدول 5 الوارد في التوصية ITU-R BT.2100. وهذه مجرد طريقة لزيادة مدى النصوص المستخدم في الاختبار دون الحد من إمكانية تطبيق النتائج على الأنظمة المشار إليها بالمشهد.

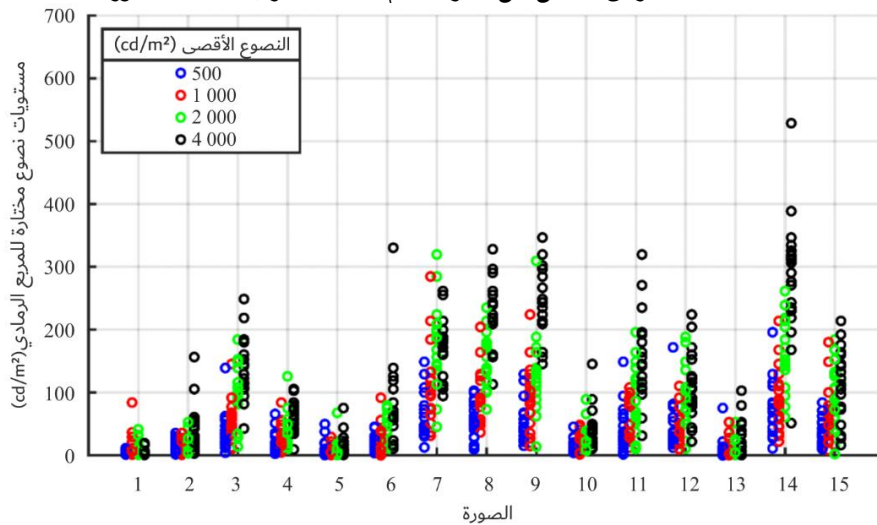
وكان المشاركون في الاختبار يجلسون على بعد 1,9 m من شاشة العرض، أي ما يعادل 3,2 ضعف ارتفاع الشاشة. وتم فحص كل شخص للتأكد من حدة البصر الطبيعية قبل الاختبار، وبعد ذلك تم إعطاؤهم تعليمات مكتوبة. وتم توفير صورتين للتدريب، وتضمنت ثلاث صور "وهمية" في بداية الاختبار. وتم تجاهل نتائج صور التدريب والصور المزيفة. وعُرضت الصور بترتيب عشوائي مختلف لكل مشارك، مع الحرص على عدم تقديم نفس الصورة (بنصوع مختلف) مرتين على التوالي. وأكمل عشرون مشاركاً الاختبار.

نتائج تجربة لتحديد قيم النصوص لصور الاختبار

يعرض الشكل 5 الاستجابات الفردية لجميع المشاركين العشرين، لكل صورة عند كل أقصى نصوص لشاشة العرض. وجددير بالإشارة أن الصور قد لا تحتوي جميعها على مستويات نصوص ذاتية مختلفة، حتى عند مستويات نصوص قصوى مختلفة لشاشة العرض. فعلى سبيل المثال، تبدو صورة الاختبار 1 (انظر الشكل 4) مظلمة في الغالب، مع عدد قليل من النقاط المميزة بشدة. وعندما يزداد نصوص شاشة العرض، يكون الاختلاف الذاتي الأكبر في النصوص المدرك للمناطق المميزة، لذلك قد لا يتأثر النصوص الإجمالي لهذه الصورة بالتغيير في النصوص الأقصى لشاشة العرض إذا كان مستوى مساحة صغيرة من المناطق المميزة غير ذي أهمية بالنسبة للإدراك. وهذا هو بالضبط نوع التأثير الذي يتعين بحثه من أجل وضع مقياس فعال للنصوص. ومع ذلك، تُظهر النتائج اتجاهات عاماً للصور حيث تميل إلى الظهور بشكل أكثر نصوصاً مع زيادة النصوص الأقصى لشاشة العرض، وتُظهر أن مجموعة الاختبار تحتوي على مجموعة من الصور الساطعة والمظلمة.

الشكل 5

مستويات نصوص المربع الرمادي لفرادى المشاركين في الاختبار، استناداً إلى نصوص الصورة والنصوص الأقصى لشاشة العرض. تقابل كل دائرة تقييم أحد المشاركين لتلك الصورة



المقاييس الموضوعية

لأغراض هذه الدراسة، تم تطوير نماذج تربط قيم نصوص البيكسلات المعروضة بقيم النصوص الإجمالية المدركة المجمعة من الاختبارات الذاتية. وسيحتاج النموذج في النهاية إلى العمل على قيم الإشارة بدلاً من مستويات الإضاءة المعروضة إذا كان سيستخدم لأغراض مراقبة الإشارة، ولكن في هذه المرحلة، يتم الحفاظ على استقلال النموذج عن نسق الإشارة بحيث يمكن تطبيقه على أي صورة HDR.

وقد تم تخزين صور الاختبار كصور $Y'Cb'Cr'$ بطريقة لوغاريتم غاما المهجين مع اعتياد فرعي للألوان 2:2:4. وبعد زيادة اعتياد مكونات اختلاف اللون وتحويلها إلى $R'G'B'$ ، تم حساب قيم النصوص المعروضة وفقاً للجدول 5 الوارد في التوصية ITU-R BT.2100. وبإحدى ذي بدء، تتم إزالة وظيفة النقل الكهروضوئي HLG للحصول على إشارات الضوء الخطي للمشاهد $R_S G_S B_S$ ، ثم يتم تطبيق وظيفة غاما والقياس وفقاً للنصوص الأقصى لشاشة العرض للحصول على مكونات ألوان شاشة العرض $R_D G_D B_D$. وأخيراً، تُحسب قيم النصوص المعروضة على الشاشة من مكونات الألوان المعروضة على الشاشة باستخدام معادلات الألوان الواردة في التوصيتين ITU-R BT.2100/BT.2020.

وتنتج النماذج التالية قيمةً عديدةً للنصوص الإجمالي من قيم نصوص البيكسلات المعروضة على الشاشة لصور الاختبار. ويُعرّف النصوص المعروض على الشاشة لبيكسل معين على أنه $(Y_D(i, j))$ ، حيث i و j هما إحداثيا البيكسل مع $i \in 0: M - 1$ و $j \in 0: N - 1$ وفي صور الاختبار، $M = 1080$ و $N = 1920$

$$(1) \text{متوسط نصوص شاشة العرض}$$

$$\frac{1}{MN} \sum_i \sum_j Y_D(i, j)$$

$$(2) \text{متوسط نصوص شاشة العرض بالقيمة اللوغاريتمية}$$

$$\frac{1}{MN} \sum_i \sum_j \log_{10}(Y_D(i, j))$$

$$(3) \text{متوسط التكميم الإدراكي (PQ) عكس وظيفة EOTF لنصوص شاشة العرض}$$

$$\frac{1}{MN} \sum_i \sum_j \text{EOTF}^{-1}(Y_D(i, j))$$

$$(4) \text{متوسط نصوص العرض المرفوع إلى أسّ معين}$$

$$\frac{1}{MN} \sum_i \sum_j (Y_D(i, j))^p$$

$$(5) \text{متوسط إضاءة اللون CIE 1976}$$

مع تعريف L^* على النحو المحدد من قبل هيئة الإضاءة الدولية (CIE) [7]، بما في ذلك القسم الخطي عند مستويات النصوص المنخفضة. ويتم استخدام قيم الضوء على شاشة العرض المقابلة لمستوى الإشارة بنسبة 75% بوصفها اللون الأبيض المرجعي، حيث تم تعريف هذه القيمة على أنها المستوى المرجعي للرسوم البيانية المتعلقة بإشارة لوغاريتم غاما المهجين (HLG) ذات المدى الدينامي العالي (HDR). وهذه المستويات هي 120 و 203 و 344 و 581 cd/m^2 لمستويات ذروة النصوص 500 و 1000 و 2000 و 4000 cd/m^2 على التوالي.

$$(6) \text{النصوص المتوسط المرجح لشاشة العرض}$$

حيث θ_{ij} هي الزاوية الممتدة عند العين بين البيكسل (i, j) ومركز الشاشة، بقيمة لا تقل عن 0,75 درجة. ويتبع هذا المقياس نموذج مون وسبنسر [8]. وفي النموذج المستخدم هنا، يُفترض أن رؤية المشاهد تركز على مركز الشاشة، وتقترب بطريقة تجعل جميع البيكسلات تمتد لنفس الزاوية في شبكية العين، مع تجاهل القيم الثابتة التي لن تؤثر على معاملات الترابط.

$$(7) \text{متوسط القيم في مركز الشاشة}$$

نسخة مبسطة من ترجيح مون وسبنسر: حساب متوسط النصوص لتلك البيكسلات فقط الموجودة في الربع المركزي من الشاشة.

$$\frac{4}{MN} \sum_{i=M/4}^{3M/4} \sum_{j=N/4}^{3N/4} Y_D(i, j)$$

(8) العتبات المئوية

العتبات المئوية رقم n ، P_n ، هي مستوى النصوص الذي تقع تحته العتبة المئوية n لجميع مستويات نصوص البيكسلات. وتشير العتبات المئوية إلى توزيع مستويات نصوص شاشة العرض. ويتم اختبار العتبات المئوية من P_{10} إلى P_{100} .

(9) مديات العتبات المئوية

حساب المدى الرباعي، $P_{25} - P_{75}$ ، والفرق بين العتبتين المئويتين 90 و 10 ، $P_{90} - P_{10}$. ويصف هذا المدى انتشار قيم النصوص المعروضة على الشاشة.

(10) متوسط القيم ضمن مدى محدد

حساب متوسط نصوص شاشة العرض لتلك القيم فقط التي تتراوح بين P_{25} و P_{75} . ويتم أيضاً اختبار المدى من P_{10} إلى P_{90} . استعملت المستويات الرمادية المتوسطة المختارة من أجل 60 صورة اختبار (15 صورة عند أربعة مستويات قصوى للنصوص، انظر الشكل 4) كقيم نصوص حقيقية لتقييم النماذج. ويتم الإبلاغ عن معامل ارتباط بيرسون ومعامل ارتباط سيرمان حسب الرتب بين كل نموذج والمرجع الفعلي.

ارتباط المقاييس الموضوعية بالنتائج الذاتية

يوضح الجدول 1 معاملات ارتباط بيرسون ومعاملات ارتباط سيرمان حسب الرتب لجميع مقاييس النصوص التي تمت دراستها. وتُعرض النتائج أيضاً بيانياً في الشكلين 6 و 7.

وأبسط مقياس، متوسط النصوص المعروض على الشاشة (المقياس 1)، هو تطابق جيد جداً، مع معامل ارتباط بيرسون الذي يقل قليلاً عن 0,96. ويظهر أداءه في الشكل 8، المخطط الأيسر. ولا تؤدي مختلف طرائق القياس اللاخطية في المقاييس 2-5 إلا إلى انحراف البيانات عن الخط المستقيم للمقياس 1، كما هو موضح بالنسبة للمقياس 5 مع أس قدره 0,33 في المخطط الأيمن في الشكل 8، حيث يتضح أن الخط المنحني مناسباً بشكل أفضل. والاستثناء الوحيد هو رفع قيم نصوص البيكسلات إلى أس يتراوح بين 0,8 و 0,9 قبل إجراء التوسيط (انظر الشكل 7، على اليسار)، مما يتيح تحسناً طفيفاً جداً عن المقياس 1.

ومتوسط نصوص شاشة العرض المرشح (المقياس 6)، الذي يعتمد على تثبيت رؤية المشاهد، يعمل بشكل ضعيف، كما أن متوسط القيم في مركز الشاشة (المقياس 7) أقل فعالية بكثير من متوسط جميع القيم. وهذا يدل على أن البيكسلات القريبة من حافة الشاشة تساهم إلى حد كبير في النصوص الإجمالي.

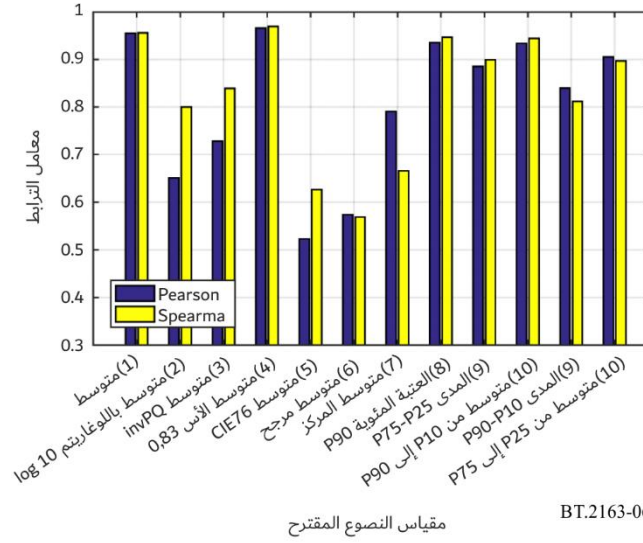
وأداء العتبات المئوية الأدنى (المقياس 8) ضعيف جداً، لكن العتبات المئوية الأعلى تتوافق بشكل جيد مع نتائج الاختبار الذاتي. ويشير هذا إلى أن توزيع النصوص في الأجزاء الأكثر ظلاماً من الصورة ليس عاملاً مهماً للنصوص الإجمالي المدرك، على عكس مستوى الأجزاء الأكثر نصوصاً والتي هي أكثر أهمية. وينخفض الترابط بالنسبة للعتبات المئوية فوق العتبة رقم 90، مما يعني ضمناً أن المناطق الساطعة الصغيرة جداً لها تأثير أقل على النصوص الإجمالي.

وأداء مديات العتبات المئوية (المقياس 9) مماثل لأداء العتبة المئوية المقابلة للحد الأعلى للمدى، أي أن الترابط فيما يخص $P_{90} - P_{10}$ مماثل للارتباط فيما يخص P_{90} وحدها، وأن الترابط فيما يخص $P_{75} - P_{25}$ يتراوح بين P_{70} و P_{80} . ولكل منهما ارتباط جيد نسبياً بالنتائج الذاتية. وتحتوي جميع صور الاختبار الخاصة بنا على بعض المناطق المظلمة، وبالتالي لا توفر مديات العتبات المئوية في هذه الحالة معلومات أكثر من العتبات المئوية الفردية.

كما أن متوسط القيم ضمن مدى محدد (المقياس 10) يؤدي أداءً جيداً نسبياً. ويأتي الترابط الأعلى من المدى الأوسع، أي المدى الأكثر تشابهاً مع المقياس 1.

الشكل 6

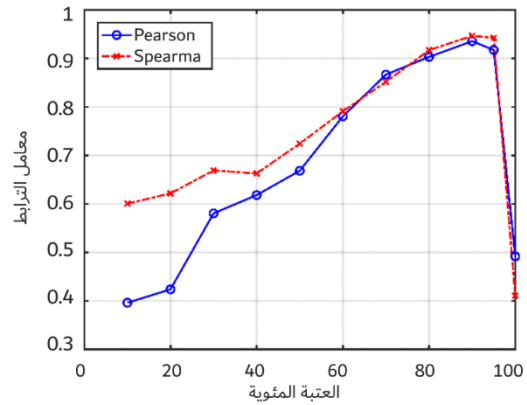
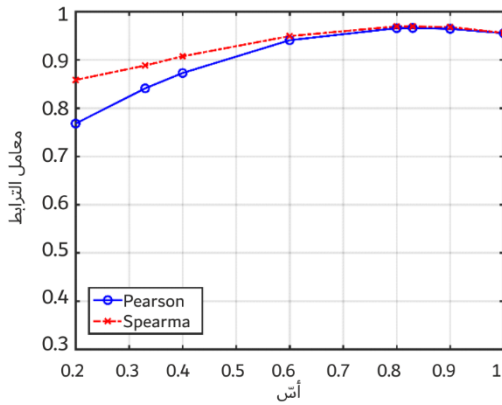
معاملات الترابط لجميع المقاييس التي تمت دراستها
استعمال المعلمات التي تعطي أعلى ارتباط للمقياسين 4 و 8



BT.2163-06

الشكل 7

معاملات الترابط للمقياس 4، ومتوسط قيم نصوص البيكسلات المعرضة على الشاشة المرفوعة إلى أسّ ما، مع قيم أسية من 0,2 إلى 1 (يسار)؛ ومعاملات الترابط للمقياس 8، العتبات المئوية من 10 إلى 100 لقيم نصوص البيكسلات المعرضة على الشاشة (يمين)



BT.2163-07

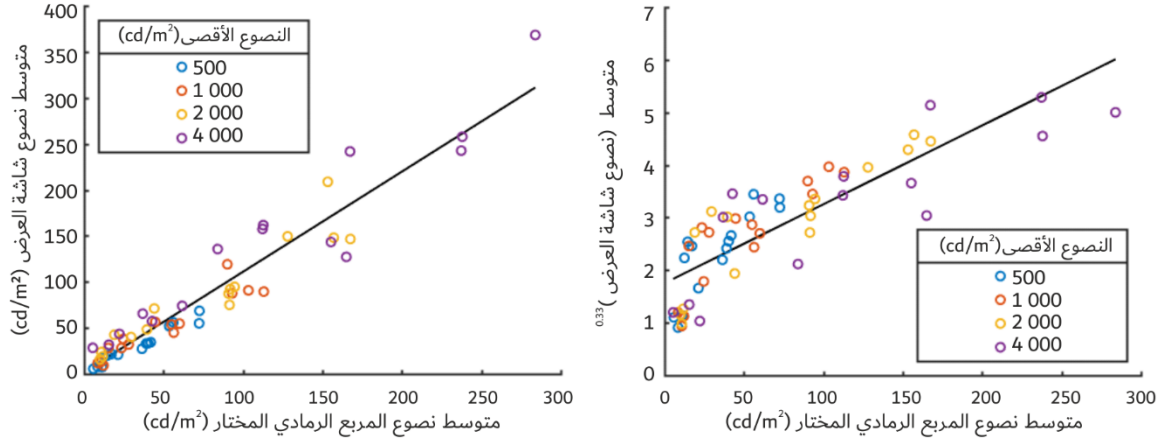
الجدول 1

معاملات بيرسون وسييرمان للترابط حسب الرتب لمقاييس النصوص التي تمت دراستها
يظهر أفضل ترابط في كل قسم من الجدول بالخط البارز

معامل سييرمان للترابط حسب الرتب	معامل بيرسون للترابط	قيمة المعلمة (إذا كانت تنطبق)	المقياس
0,955877	0,955378	-	(1) متوسط نصوص شاشة العرض
0,800111	0,651608	-	(2) متوسط نصوص شاشة العرض باللوغاريتم log 10
0,839344	0,728708	-	(3) متوسط التكميم الإدراكي (PQ) عكس وظيفة EOTF لنصوص شاشة العرض
0,626341	0,523273	-	(4) متوسط إضاءة اللون CIE 1976
0,858405	0,767964	0,2	(5) متوسط نصوص شاشة العرض المرفوع إلى أسّ معين
0,888358	0,841025	0,33	
0,907530	0,872807	0,4	
0,949264	0,940758	0,6	
0,969492	0,965687	0,8	
0,969214	0,966131	0,83	
0,968158	0,964285	0,9	
0,568769	0,573798	-	(6) النصوص المتوسط المرجح لشاشة العرض
0,666296	0,791089	-	(7) متوسط القيم في مركز الشاشة
0,600389	0,395950	P_{10}	(8) العتبات المعنوية
0,621506	0,423570	P_{20}	
0,668797	0,580292	P_{30}	
0,662573	0,617995	P_{40}	
0,724034	0,668203	P_{50}	
0,790886	0,780425	P_{60}	
0,851570	0,866544	P_{70}	
0,916921	0,903016	P_{80}	
0,946374	0,935327	P_{90}	
0,942317	0,917317	P_{95}	
0,410593	0,491586	P_{100}	
0,899194	0,885345	$P_{75} - P_{25}$	(9) مدىات العتبات المعنوية
0,944540	0,934097	$P_{90} - P_{10}$	
0,811892	0,839611	P_{75} إلى P_{25}	(10) متوسط القيم ضمن مدى محدد
0,89686	0,905243	P_{90} إلى P_{10}	

الشكل 8

المقياس 1، متوسط نصوع شاشة العرض (يسار)، والمقياس 5، متوسط نصوع شاشة العرض المرفوع إلى أس مقداره 0,33 (يمين)، كل رسم بياني مقابل متوسط نصوع المربع الرمادي المحدد (يستخدم كمقياس للنصوع الذاتي، انظر الملحق 2 للاطلاع على التفاصيل)، لكل صورة اختبار



BT.2163-08

الخلاصة

تمت دراسة عشر فئات من مقياس النصوع الموضوعية التي تربط قيم نصوع البيكسلات على شاشة العرض بالنصوع الإجمالي للصورة. وتحدد القياسات السابقة للنصوع الإجمالي المدرك لمجموعة من الصور ذات المدى الدينامي العالي البيانات الفعلية لتقييم المقياس التي تمت دراستها.

ويرفع المقياس الأفضل أداءً قيم نصوع البيكسلات المعروضة على الشاشة إلى أس مقداره 0,83 قبل حساب القيمة المتوسطة، ولكن نتائج هذا الإجراء أفضل بشكل طفيف فقط بالمقارنة مع نتائج مقياس أبسط يحدد متوسط قيم نصوع البيكسلات المعروضة على الشاشة مباشرةً. والتحسين الذي يتيح رفع القيم إلى أس معين بدايةً ضئيل للغاية، ومن المحتمل أن يخضع لقيود عدم اليقين التجريبي، ولذلك يفضل الأسلوب الأبسط للتطبيقات في الوقت الفعلي. ويشير الترابط الكبير البالغ 0,96 إلى أن هذا المقياس البسيط سيكون أساساً فعالاً لمراقبة حذف في النصوع.

المراجع

- [1] Noland, K.C., Pindoria M. and Cotton, A., "Modelling Brightness Perception for High Dynamic Range Television" Research & Development White Paper, 2019, pp. 1, 2. Available: <http://downloads.bbc.co.uk/rd/pubs/whp/whp-pdf-files/WHP341.pdf>
- [2] Hunt, R. W. G., "The Reproduction of Colour in Photography, Printing and Television," 4th ed. Fountain Press, 1987.
- [3] Fairchild, Mark, "The HDR Photographic Survey," website, <http://markfairchild.org/HDR.html>
- [4] Fröhlich, J., Grandinetti, S., Eberhardt, B., Walter, S., Schilling, A., and Brendel, H., "Creating cinematic wide gamut HDR-video for the evaluation of tone mapping operators and HDR-displays," Proc. SPIE 9023, Digital Photography X, 90230X, 7 March 2014. Images available online at <https://www.hdm-stuttgart.de/vmlab/hdm-hdr-2014/>

- [5] Fechner, G. T., “*Elemente der Psychophysik*,” Breitkopf und Härtel, 1860.
- [6] Stevens, S. S., “*To Honour Fechner and Repeal His Law*,” *Science*, vol. 133, no. 3446, pp. 80-86, 1961.
- [7] Commission Internationale de l’Eclairage, “CIE 1976 L*u*v* colour space,” 2014. [Online] Available: <https://cie.co.at/eilv/159>.
- [8] Moon, P. and Spencer, D. E., “*The Visual Effect of Non-Uniform Surrounds*,” *J. Optical Soc. America*, vol. 25, no. 3, pp. 233-248, 1945.

الملحق 3 (إعلامي)

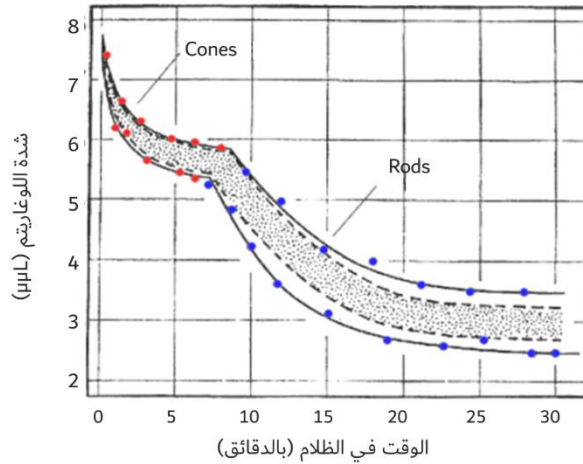
معلومات أساسية عن الشكل الوظيفي لمستوى الصورة الزمني

مقدمة

تتكيف الرؤية البشرية بمرور الوقت مع المحتوى الذي تشاهده. ويعتمد هذا التكيف إلى حد ما على المحتوى الذي شاهده المراقب في الماضي القريب. ومن المعروف منذ فترة طويلة أنه فيما يتعلق بالحافز المعروض بنصوع ثابت ولفترة محددة، يرتبط مستوى تكيف المراقب بمنتج النصوع المعروض ومدته (أي الطاقة الكلية التي تعرض لها المراقب) [1] [2] [3]. وإذا أزيل الحافز، بعد التكيف الكامل مع مستوى النصوع الثابت هذا، يبدأ التكيف مع الظلام الذي يستغرق حوالي 30 دقيقة ليصبح ساري المفعول بالكامل. ويبين الشكل 9 منحنى التكيف مع الظلام كدالة في الزمن.

الشكل 9

منحنى التكيف مع الظلام



BT.2163-09

ملاحظة بشأن الشكل 9: تمثل المنطقة المظلمة 80% من مجموعة المشاركين في الاختبار. (بيانات مستوحاة من Mandelbaum و Hecht مأخوذة من Pirenne M. H. التكيف مع الظلام والرؤية الليلية. الفصل 5: Davson, H. (ed)، العين، المجلد 2. لندن، الصحافة الأكاديمية، 1962).

ويمكن ملاحظة تكيف العَصِيّ والمخاريط على طول منحنيات ماثلة، ولكن بمخطط إضاءة مختلف. وتحتوي النقرة على مخاريط فقط، ولذا، فإن جزء المنحنى الذي تحدده العَصِيّ يكون غائباً. وكما ذكر أعلاه، تعتمد منحنيات التكيف مع الظلام على النصوص ما قبل التكيف والذي تؤثر مدته على التكيف مع الظلام. وكلما كان النصوص ما قبل التكيف أقصر، حدث التكيف بشكل أسرع. وهذا يشير إلى أن التعرض للنصوص لفترة أطول يؤدي إلى تأثير أقل على حالة التكيف الحالية.

إحدى الفرضيات المحتملة هي أن الحالة الراهنة لتكيف مراقب معرض لمحتوى الفيديو يمكن تقريبها من خلال التكامل المرجح لنصوص أرتال الفيديو السابقة، بحيث يكون للأرتال التي تمت مشاهدتها منذ فترة أطول وزن أقل. وفي معالجة الصور، سيكون هذا مكافئاً لدمج كل موضع بكسل بشكل فردي في عدد محدد من الأرتال السابقة. ومع ذلك، فإن هذا التكامل مشابه لتطبيق مرشاح تمرير منخفض زمني على كل موضع بكسل. ولذلك، من حيث المبدأ، سيتسنى تحديد حالة تكيف النظام المرئي للمراقب المعرض للفيديو عن طريق عمل تلافيف لمرشاح تمرير منخفض مع الفيديو نفسه.

وتشكل هذه التلافيف عبئاً حسابياً كبيراً، وبالإضافة إلى ذلك، يمكن حساب التأثير بطريقة أكثر كفاءةً وبطريقة أكثر ملاءمةً من الناحية البيولوجية. ولهذا الغاية، يمكن نمذجة استجابة الخلايا العصبية في الدماغ (البشري) بشكل جيد من خلال نماذج الدمج والإطلاق التسريبي (المعممة). وتظهر الخلايا العصبية علاقةً بين تيارات الغشاء العصبي في مرحلة الدخل وجهد الغشاء في مرحلة الخرج⁸. ومن المعروف أن الخلايا العصبية تفقد بعض الجهد وفقاً لمقاومة أغشيتها، بحيث يرتبط التيار الدافع $I(t)$ في الوقت t بجهد الغشاء V_m على النحو التالي:

$$I(t) = \frac{V_m(t)}{R_m} + C_m \frac{dV_m(t)}{dt}$$

حيث:

R_m : مقاومة الغشاء

C_m : سعة الخلية العصبية

ويتعلق الأمر في الأساس بدمج تسريبي⁹. ويمكن ضربه في المتغير R_m وإدخال ثابت وقت الغشاء $\tau_m = R_m C_m$ للحصول على¹⁰:

$$\tau_m \frac{dV_m(t)}{dt} = -V_m(t) + R_m I(t)$$

ويبدو من المنطقي افتراض أن جهد الغشاء في الوقت $t=0$ يكون عند قيمة ثابتة معينة، أي $V_m(0) = V$ ، وأنه في أي وقت بعد ذلك يضمحل الدخل، أي $I(t) = 0$ for $t > 0$. وهذا يعني أن الخلايا العصبية تبدأ في التكيف مع غياب الدخل. وفي حالة المستقبلات الضوئية، على سبيل المثال، ستكون هذه بداية التكيف مع الظلام، ولكن جدير بالإشارة أن هذه العملية ليست حصريةً للمستقبلات الضوئية. ولذلك، فإن الحل المغلق الناتج عن المعادلة أعلاه هو كما يلي:

$$V_m(t) = V e^{-\frac{t}{\tau_m}} \quad \text{for } t > 0$$

ويمكن ملاحظة أن هذه المعادلة تمثل بالفعل نموذجاً نوعياً لمنحنيات التكيف مع الظلام المعروضة في الشكل 9. وجدير بالملاحظة أن هذه المعادلة تكافئ بشكل أساسي النموذج الذي اقترحه كروفورد في عام 1947 [4] [5]. وقد ثبت أن الدمج التسريبي نموذج مناسب للسلوك التكيفي للخلايا العصبية المنخرطة في الرؤية البشرية.

وبالنسبة لقيم t القريبة من 0، يميل مشتق الدالة المذكورة أعلاه إلى $-\frac{V}{\tau_m}$ ، بحيث يمكن التحكم في معدل التغيير الأولي من خلال المعلمة τ_m . وللوصول إلى صياغة فعالة حسابياً، تعاد كتابة المعادلة التفاضلية أعلاه على النحو التالي:

$$\tau_m (V_m(t) - V_m(t-1)) = -V_m(t) + R_m I(t)$$

⁸ https://en.wikipedia.org/wiki/Biological_neuron_model#Leaky_integrate-and-fire

⁹ https://en.wikipedia.org/wiki/Leaky_integrator

¹⁰ <https://neurondynamics.epfl.ch/online/Ch1.S3.html>

بحيث:

$$(\tau_m + 1)V_m(t) - \tau_m V_m(t - 1) = R_m I(t)$$

مما يؤدي فيما بعد إلى:

$$V_m(t) = \frac{\tau_m}{\tau_m + 1} \left(V_m(t - 1) + \frac{I(t)}{C_m} \right)$$

ويشير هيكل هذه المعادلة إلى أن خرج الخلية العصبية V_m في الوقت t هو دالة لخرج الخلية العصبية في الوقت $t - 1$ ، وكذلك للدخل I في الوقت t .

ولأغراض تنفيذ هذا النموذج كدامج تسريبي يمكن تطبيقه على الصور أو القيم المشتقة من الصور، يمكن ضبط مقاومة الغشاء R_m على 1، بحيث:

$$V_m(t) = \frac{\tau_m}{\tau_m + 1} \left(V_m(t - 1) + \frac{I(t)}{\tau_m} \right)$$

ولتطبيق هذا النموذج في بيئة إذاعية، يُفضّل مستوى تكييف واحد لكل رتل بدلاً من مستوى تكييف لكل بيكسل. ويمكن تحقيق ذلك من خلال ملاحظة أن تكييف الحالة المستقرة $L_a(t)$ للرتل t قد يتم تقريبه من خلال نصوع متوسط للرتل، كمستوى الصورة (IL) على سبيل المثال. وتُعطى الحالة الزمنية للتكيف $L_T(t)$ بالمعادلة:

$$L_T(t) = \frac{\tau_m}{\tau_m + 1} \left(L_T(t - 1) + \frac{L_a(t)}{\tau_m} \right)$$

وتأثير تطبيق هذه الطريقة هو تأثير مرشح منخفض التمرير زمني، وإن كان ذلك بدون التعقيد الحسابي المرتبط بعمليات الترشح هذه. ولذلك يتم تضمينه كقياس للتكيف البصري البشري مع المحتوى المتحرك.

ويمكن إعادة ترتيب المعادلة أعلاه إلى:

$$L_T(t) = L_T(t - 1) \left(1 - \frac{1}{\tau_m + 1} \right) + L_a(t) \left(\frac{1}{\tau_m + 1} \right)$$

المراجع

- [1] F. A. Mote and A. J. Riopelle. The effect of varying the intensity and the duration of preexposure upon foveal dark adaptation in the human eye. *J. comp. physiol. Psychol.*, pp. 46(1):49-55, 1953.
- [2] Ledda, Patrick, Luis Paulo Santos, and Alan Chalmers. "A local model of eye adaptation for high dynamic range images." In *Proceedings of the 3rd international conference on Computer graphics, virtual reality, visualisation and interaction in Africa*, pp. 151-160. ACM, 2004.
- [3] Mote, F. A., and A. J. Riopelle. "The effect of varying the intensity and the duration of preexposure upon foveal dark adaptation in the human eye." *The Journal of general physiology* 34, No. 5 (1951): pp. 657-674.
- [4] Crawford, B. H. "Visual adaptation in relation to brief conditioning stimuli". *Proc. R. Soc. Lond. B* 134, No. 875 (1947): pp. 283-302.
- [5] Pianta, Michael J., and Michael Kalloniatis. "Characterisation of dark adaptation in human cone pathways: an application of the equivalent background hypothesis". *The Journal of physiology* 528, No. 3 (2000): pp. 591-608.

الملحق 4 (إعلامي)

التحقق من الثابت الزمني في مستوى الصورة الزمنية

مقدمة

يصف هذا الملحق البحوث التي أُجريت لدراسة القيمة τ المناسبة من أجل خوارزمية الاضمحلال الواردة في الفقرة 2.

الاختبار الذاتي

طوّرت مختبرات Dolby (دولبي) مجموعة من الاختبارات الذاتية. والجديد في هذه التجربة دراسة التفاوت الذاتي للتغيرات في النصوص بمرور الوقت. وتم إجراء نسختين من التجربة لحساب الاستجابات المرئية لحالات الانتقال من النصوص إلى الظلام ثم إلى النصوص، ومن الظلام إلى النصوص ثم إلى الظلام. وفي النسخة الأولى من التجربة، تم بدايةً عرض صورة ساطعة للمراقبين لمدة 10 ثوانٍ ثم تحولوا إلى صورة مظلمة لفترة زمنية متغيرة، وأخيراً عادوا إلى الصورة الساطعة لمدة 7 ثوانٍ. وبالمثل، في النسخة الثانية من التجربة، عُرض على المراقبين بدايةً صورة مظلمة لمدة 10 ثوانٍ، ثم تحولوا إلى صورة ساطعة لفترة زمنية متغيرة، وأخيراً عادوا إلى الصورة المظلمة لمدة 7 ثوانٍ. ويعرض الجدول 2 الفترات الزمنية المختلفة للصورة المتوسطة التي تم استخدامها في كلتا النسختين. وقبل التجربة، تم إجراء مجموعة من الاختبارات التجريبية لتحديد الفترات الزمنية المثلى للاستعمال لكل نسخة.

الجدول 2

الفترات الزمنية للتكيف المطبقة في التجربة

فترة الصورة المتوسطة بالثواني	نسخة التجربة
150، 120، 90، 60، 40، 25، 10، 5، 0,5	ساطعة إلى مظلمة إلى ساطعة
60، 30، 20، 15، 10، 5، 2، 0,5	مظلمة إلى ساطعة إلى مظلمة

وبعد انتقال الاهتمام (من الصورة المتوسطة إلى الصورة النهائية)، طُلب من المشاركين تقييم تجربتهم. ويعرض الجدول 3 العلامات والمصطلحات المرتبطة بمقياس الانحطاط. وللمصطلحات التي تشير إلى درجة من الألم/الانزعاج قيمتان لإضافة التدرج. وبالإضافة إلى ذلك، تستعمل نسختنا الاختبار لغةً مختلفةً للتعبير عن أحاسيس المراقبين عند كل تقاطع للنصوص.

الجدول 3

مقياس الانحطاط المستخدم لتقييم تقاطع النصوص في نسختي التجربة

المصطلحات مظلمة إلى ساطعة إلى مظلمة	المصطلحات ساطعة إلى مظلمة إلى ساطعة	الدرجة (الدرجات)
مزعج	مؤلم	1، 1,5
مزعج بشكل ملحوظ	مؤلم بشكل ملحوظ	2، 2,5
مزعج قليلاً	مؤلم قليلاً	3، 3,5
غير مزعج	غير مؤلم	4

والمشاركون الشخصيون في هذه التجربة هم خليط من 17 مشاهداً خبيراً وغير خبير. واستُخدمت ظروف المشاهدة الواردة في التوصية ITU-R BT.2100 مع بيئة محيطة تبلغ 5 cd/m^2 ونظام عرض ليزري كريستي 4k 6p. وتمت معايرة جهاز العرض الليزري إلى نصوص أقصى يبلغ 1000 cd/m^2 وسجل مستوى مقياس للون الأسود يبلغ $0,0004 \text{ cd/m}^2$. وتمت موضعة الصور بحيث تشكل

زاوية أفقيةً تعادل 3,2 أضعاف ارتفاع الصورة من موقع مشاهدة المراقب. وأُرسلت إشارة الصورة عبر سطح بيني رقمي قياسي (SDI) بعد تشفيرها باستخدام وظيفة النقل الكهروضوئي PQ.

صور الاختبار

تم استخدام ما مجموعه أربع صور في هذه الدراسة (كما هو موضح في الشكل 10). كانت إحدى الصور بمثابة الصورة "المظلمة" بينما كانت الصور الثلاث الأخرى بمثابة مستويات مختلفة من الصورة "الساطعة". وتم تكرار إجراء الاختبار لكل صورة ساطعة. تم تعيين درجة لونية لجميع الصور لعرضها ضمن مدى نصوع جهاز العرض. وأنشأت شركة مختبرات دولبي (Dolby) الصورة المظلمة، وحصلت شركة Dolby على إذن من Spears & Munsil¹¹ لاستخدام الصور الساطعة الثلاث. ويعرض الشكل 1 الصور، والقيم المحسوبة لمتوسط نصوع شاشة العرض. وتم حساب متوسط قيم نصوع شاشة العرض باستخدام خوارزمية مستوى الصورة الواردة في الفقرة 1.

الشكل 10

صور الاختبار عند قيم نصوع متوسطة لشاشة العرض محددة على جهاز عرض 1000 cd/m^2

0.1
 cd/m^2



105
 cd/m^2



20
 cd/m^2



338
 cd/m^2



BT.2163-10

نتائج الاختبار

تم تقييم ثلاث صور "ساطعة" مختلفة في نسختي التجربة لاختبار الانتقال إلى قيم نصوع مختلفة لمتوسط لشاشة العرض. والغرض من ذلك إظهار كيفية تغير متوسط الدرجة الذاتية (MSS) مع اتساع تغير النصوع في قمة الصورة بالإضافة إلى كيفية تغيره مع مسار التكيف الزمني.

ويبين الشكل 11 متوسط التقييمات وفترات الثقة بنسبة 95% للصور الثلاث في اختبارات وقت التكيف التسعة. ويمثل متوسط الدرجة الذاتية البالغ 4 تحولاً لا ينطوي على أي ألم في العين أو انزعاج شخصي، في حين تشير الدرجات 2 أو أقل إلى ألم أو انزعاج ملحوظ في العين.

¹¹ Spears & Munsil Ultra HD Benchmark (2023). <https://www.biaslighting.com/products/spears-munsil-ultra-hd-benchmark-2023>

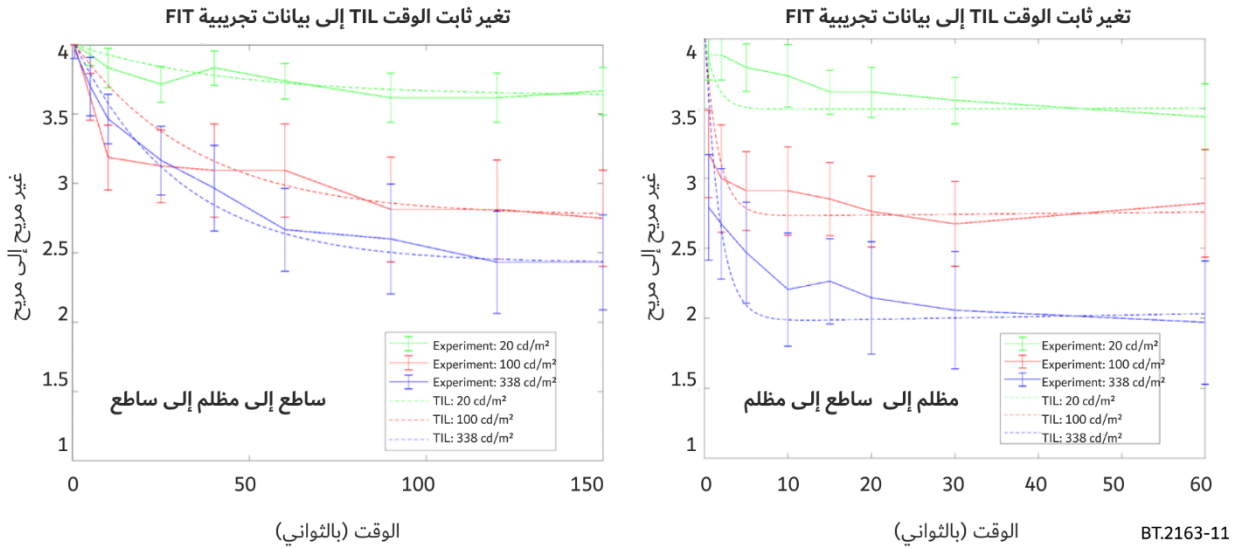
ولتحديد قيمة τ مناسبة للمعادلة TIL، يجب أن يكون وقت التكيف مرتبطاً بنتائج المتوسط MSS. والاستجابة على مستوى الصور (ILR) في الفقرة 3 هي تقريب أكثر دقةً للتجربة الذاتية.

ولذلك، فبمجرد التحويل من متوسط نصوع شاشة العرض إلى مستوى الصورة، تُطبق المعادلات TIL بقيم τ مختلفة لتقدير مستوى التكيف مع الصورة المظلمة بعد التعرض الأولي لعشر ثوانٍ للصورة الساطعة وأوقات التكيف المختلفة. وبمجرد إجراء تقديرات TIL لكل توليفة من الصورة الساطعة ووقت التكيف، يتم حساب قيم ILR. ويُجرى بعد ذلك قياس هذه القيم بحيث تعكس متوسط مدى الدرجة الذاتية لقيم النصوع الخاصة بكل منها. ويتم ذلك من خلال إجراء تقييس وتدرج المدى المعياري.

وفي الشكل 11، يتم التمثيل البياني لقيم متوسط الدرجات الذاتية الناتجة عن التجربة، مع القيمة المثلى τ والمحسوبة وفقاً لمستوى TIL، بخطوط متقطعة، ويتم عرض البيانات التجريبية بخطوط متصلة.

الشكل 11

متوسط الدرجات الذاتية لتحويلات النصوع لأوقات التكيف المختلفة مقارنةً بمتوسط الدرجات الذاتية التقريبية المتولدة



وترد أدناه القيم τ المثلى لهذا الشكل الوظيفي (ضمن فترات الثقة). وللحفاظ على انخفاض أوقات التكيف، فبالنسبة للفقرة 2، يُستعمل الحد الأدنى للقيم المثلى.

$$\tau = \begin{cases} [22 \text{ to } 25] \frac{f}{24} & \text{if } p(t) \geq 0 \\ [800 \text{ to } 2000] \frac{f}{24} & \text{if } p(t) < 0 \end{cases}$$

ويتبع اضمحلال الوقت بشكل أكثر دقةً اتجاهات البيانات التجريبية للنسخة "ساطع إلى مظلم إلى ساطع". ولوحظ انحراف كبير بالنسبة إلى 100 cd/m² في 10 ثوانٍ. وسيكون من المفيد القيام بأعمال بحثية مستقبلية للتحقيق في هذا القيمة الشاذة. ولا يتبع ثابت وقت الاضمحلال البيانات التجريبية للنسخة "مظلم إلى ساطع إلى مظلم" بشكل واضح كما هو الحال بالنسبة للنسخة "ساطع إلى مظلم إلى ساطع". ويرجع ذلك أساساً إلى التأثير المتزايد الذي يجلبه حجم تقاطع النصوع على فترات قصيرة. ولاحظ المراقبون صورةً لاحقةً فوريةً مع أقصر مدة زمنية للصورة الساطعة. ولا يسمح الشكل الوظيفي الحالي بانخفاض فوري يليه انخفاض بطيء. وسيكون من المفيد مواصلة دراسة هذه الظاهرة.