

الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصية ITU-R BT.1908-0
(2012/01)

تقنيات القياس الموضوعي للجودة الفيديوية
المدركة للتطبيقات الإذاعية التي تستعمل
التلفزيون عالي الوضوح في وجود إشارة
مرجعية منخفضة

السلسلة BT

الخدمة الإذاعية (التلفزيونية)



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 مدى الترددات، تكون أساساً لإعداد التوصيات واعتمادها. ويؤدي قطاع الاتصالات الراديوية وظائفه التنظيمية والسياساتية من خلال المؤتمرات العالمية والإقليمية للاتصالات الراديوية وجمعيات الاتصالات الراديوية بمساعدة لجان الدراسات.

سياسة قطاع الاتصالات الراديوية بشأن حقوق الملكية الفكرية (IPR)

يرد وصف للسياسة التي يتبعها قطاع الاتصالات الراديوية فيما يتعلق بحقوق الملكية الفكرية في سياسة البراءات المشتركة بين قطاع تقييس الاتصالات وقطاع الاتصالات الراديوية والمنظمة الدولية للتوحيد القياسي واللجنة الكهروتقنية الدولية (ITU-T/ITU-R/ISO/IEC) والمشار إليها في القرار 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>)

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 بعد	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، 2020

© ITU 2020

جميع حقوق النشر محفوظة. لا يمكن استنساخ أي جزء من هذه المنشورة بأي شكل كان ولا بأي وسيلة إلا بإذن خطي من الاتحاد الدولي للاتصالات (ITU).

التوصية ITU-R BT.1908-0*

تقنيات القياس الموضوعي للجودة الفيديوية المدركة للتطبيقات الإذاعية
التي تستعمل التلفزيون عالي الوضوح في وجود
إشارة مرجعية منخفضة

(2012)

مجال التطبيق

تحدد هذه التوصية طرائق لتقدير الجودة الفيديوية المدركة للتطبيقات الإذاعية التي تستعمل التلفزيون عالي الوضوح (HDTV) في وجود إشارة مرجعية منخفضة.

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

- (أ) أن القدرة على قياس جودة الإذاعة الفيديوية أوتوماتياً طالما أُقر بأنها وسيلة قيمة تفيد منها دوائر صناعة الاتصالات؛
- (ب) أن التوصية ITU-R BT.1683 تصف طرائق موضوعية لقياس الجودة الفيديوية المدركة لتلفزيون إذاعة رقمية ذات وضوح معياري في وجود مرجع منخفض؛
- (ج) أن التوصية ITU-R BT.709 تصف قيم معلمات لمعايير التلفزيون عالي الوضوح من أجل إنتاج البرامج وتبادلها على الصعيد الدولي، وأن التوصية ITU-R BT.500 تصف طرائق تقييم ذاتية لجودة الصورة في التلفزيون عالي الوضوح؛
- (د) أن التلفزيون عالي الوضوح يشجع استخدامه على نطاق واسع في مجال الإذاعة؛
- (هـ) أن لجنة الدراسات 9 في قطاع تقييس الاتصالات، بناءً على نتائج تقرير عن التلفزيون عالي الوضوح تقدم به فريق خبراء الجودة الفيديوية (VQEG)، وضعت التوصية ITU-T J.342، التي حددت موضوعياً قياس الجودة الفيديوية المدركة للتلفزيون عالي الوضوح في وجود إشارة مرجعية منخفضة؛
- (و) أن القياس الموضوعي للجودة الفيديوية المدركة للتلفزيون عالي الوضوح من شأنه أن يكمل طرائق التقييم الذاتية،
- توصي

1 باستخدام نموذج الجودة الفيديوية الموضوعي الوارد في الملحق 1 من أجل القياس الموضوعي للجودة الفيديوية المدركة للتطبيقات الإذاعية التي تستعمل التلفزيون عالي الوضوح في وجود إشارة مرجعية منخفضة.

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

الملحق 1

1 مقدمة

توفر هذه التوصية طريقة لقياس الجودة الفيديوية لاستخدامها في التطبيقات غير التفاعلية للتلفزيون عالي الوضوح (HDTV) عندما يمكن استخدام طريقة قياس المرجع المخفض (RR). وقد وُضع النموذج لتقدير درجات الجودة ذاتياً. وقد قورن النموذج بتقديرات درجة الجودة الذاتية المستخرجة باستعمال التوصية ITU-T BT.500. ويبيّن التحليلات أن دقة هذا النموذج تضاهي دقة نموذج ذروة معدل الإشارة إلى الضوضاء (PSNR).

وإذا أريد لنموذج المرجع المخفض (RR) أن يعمل بشكل صحيح، فينبغي أن يتيسر المصدر الفيديوي غير المشوه للنموذج لكي يستخلص المعلومات. وهذه المعلومات المستخلصة إلى جانب التابع الفيديوي المنحط هما مدخلات النموذج RR. وتؤدي طريقة التقدير كلا من عملية المعايرة (أي الكسب/التخالف والتسجيل المكاني/الزماني) والتقدير الموضوعي للجودة الفيديوية، على السواء.

وقد تضمنت مواد اختبار التحقق، على السواء، كلا من أحوال انخراط التشفير ITU-T H.264 و MPEG-2 ومختلف أحوال أخطاء الإرسال (من قبيل أخطاء البتات والرزم المفقودة). ويمكن استخدام النموذج في هذه التوصية لرصد جودة الشبكات المنشورة لضمان جاهزيتها التشغيلية. وقد تشمل الآثار المرئية أشكالاً من الانخراط من حيث البعد المكاني والزماني على السواء. ويمكن استخدام النموذج في هذه التوصية أيضاً لاختبار الأنظمة الفيديوية في المختبر. وعندما يستخدم لمقارنة نظامي فيديو مختلفين، من المستصوب استخدام الطريقة الكمية (كتلك الواردة في التوصية ITU-T J.149) لتحديد دقة النموذج لذلك السياق بعينه.

وتُعتبر هذه التوصية ملائمة للخدمات الإذاعية المرسله بمعدل ما بين 1 و 30 Mbit/s. وقد أخذت معدلات الاستبانة والأرتال التالية في الاعتبار في اختبار التحقق:

- 1080/59,94/I
- 1080/25/P
- 1080/50/I
- 1080/29,97/P

وقد رُوِعت الشروط التالية في اختبار التحقق بالنسبة لكل استبانة:

عوامل الاختبار
الاستبانة الفيديوية: 1 080 × 1 920 مشدرة وتدرجية
معدلات الأرتال الفيديوية: 29,97 و 25 رتلاً في الثانية
معدل البتات الفيديوية: 1 إلى 30 Mbit/s
تجمد الرتل الزماني (التوقف والتخطي) 2 ثانية كحد أقصى
أخطاء الإرسال مع فقدان الرزم
تحويل SRC من 1080 إلى 720/P، وضغط وإرسال وإزالة ضغط ثم عودة التحويل إلى 1080.
تكنولوجيات التشفير
H.264/AVC (MPEG-4 Part 10)
MPEG-2

ويلاحظ أن 720/P قد اعتبرت في خطة اختبار التحقق كجزء من شرط الاختبار في دارة مرجعية مفترضة (HRC). ولأن من الشائع التوسع في 720/P في الوقت الراهن كجزء من عملية العرض، رُئي أن HRCs 720/P تلائم هذا النسق على نحو أفضل.

1.1 التطبيق

تشمل التطبيقات لنموذج التقدير الموصوف في هذه التوصية العمليات التالية، دون أن تقتصر عليها:

(1) رصد الجودة الفيديوية في المستقبل عندما تتوفر القنوات الجانبية.

(2) رصد الجودة الفيديوية في عقد القياس الواقعة بين نقطة الإرسال ونقطة الاستقبال.

ويوفر النموذج الموصوف في هذه التوصية أداء مماثلاً من الناحية الإحصائية لأداء ذروة معدل الإشارة إلى الضوضاء (PSNR)، ومع ذلك يمكن استخدامه لتقدير الجودة الفيديوية عندما تيسر الإشارة المرجعية المخفضة عند نقطة القياس.

2.1 التحديدات

لا يمكن استخدام نموذج تقدير الجودة الفيديوية الموصوف في هذه التوصية بديلاً عن الاختبار الذاتي. وتقع عادة قيم الترابط بين اختبارين ذاتيين تم تصميمهما وتنفيذهما بعناية (أي في مختبرين مختلفين) في مدى 0,95 إلى 0,98. ولا يمكن استخدام هذه التوصية لإقامة مقارنات بين الأنظمة الفيديوية (من قبيل مقارنة نظامي كودك أو مقارنة عمليتي تنفيذ مختلفتين لنفس خوارزمية الضغط). وليس أداء نموذج تقدير الجودة الفيديوية أفضل، من الناحية الإحصائية، من أداء ذروة معدل الإشارة إلى الضوضاء (PSNR).

وفي حال جمود الرتل، تتوفر في شروط الاختبار عموماً فترات من جمود الرتل لأقل من ثانيتين. ولم يتم التحقق من النموذج في هذه التوصية لقياس جودة الفيديو في ظرف إعادة تخزين احتياطي (أي الفيديو الذي يتزايد فيه التأخر أو التجمد دون التخطيطي). ولم يختبر النموذج في معدلات أرتال أخرى غير تلك المستخدمة في أنظمة التلفزيون (أي 29,97 رتلاً في الثانية و25 رتلاً في الثانية، في أسلوب مشدر أو تدريجي).

ومن الجدير بالملاحظة أنه في حالة تكنولوجيات تشفير وإرسال جديدة تفضي إلى تشوهات لم تدرج في هذا التقييم، فإن النموذج الموضوعي قد يتمخض عن نتائج مغلوطة. وفي هذه الحالة يستدعي الأمر إجراء تقييم ذاتي.

ويلاحظ أن النموذج في هذه التوصية لم يتم تقييمه على أساس محتوى 'الرأس المتكلم' وهو من سيناريوهات المؤتمرات الفيديوية الشائعة.

2 المراجع

تتضمن التوصيات التالية لقطاع تقييس الاتصالات وغيرها من المراجع أحكاماً تشكل من خلال الإشارة إليها في هذا النص جزءاً لا يتجزأ من هذه التوصية. وقد كانت جميع الطباعات المذكورة سارية الصلاحية في وقت النشر. ولما كانت جميع التوصيات والمراجع الأخرى تخضع إلى المراجعة، يرجى من جميع المستعملين لهذه التوصية السعي إلى تطبيق أحدث طبعة للتوصيات والمراجع الأخرى الواردة أدناه. وتُنشر بانتظام قائمة توصيات قطاع تقييس الاتصالات السارية الصلاحية. والإشارة إلى وثيقة ما في هذه التوصية لا يضمن على الوثيقة في حد ذاتها صفة التوصية.

التوصية ITU-T J.244 (2008)، طرائق المعايرة للإشارة المرجعية الكاملة والإشارة المرجعية المخفضة لأنظمة البث الفيديوي مع سوء تسوية ثابت للمجالات المكانية والزمانية مع كسب وتخالص ثابتين.

3 التعاريف

1.3 مصطلحات معرّفة في أماكن أخرى

تستخدم هذه التوصية المصطلحات التالية المعرّفة في أماكن أخرى:

1.1.3 تقييم ذاتي (صورة): تحديد جودة أو تشوه برنامج من قبيل صور تُعرض على فريق من الأشخاص المقيمين في جلسات مشاهدة.

- 2.1.3 قياس إدراكي موضوعي (صورة): قياس أداء سلسلة برنامج باستخدام صور شبيهة بالبرنامج وطرائق قياس (أدوات) موضوعية للتوصل إلى دليل من شأنه تقريب سوية الدرجة التي يمكن الحصول عليها من اختبار تقييم ذاتي.
- 3.1.3 داعية: منظمة أو شركة تقترح نموذج جودة فيديوية لاختبار التحقق واحتمال الإدراج في واحدة من توصيات الاتحاد.

2.3 مصطلحات معرّفة في هذه التوصية

تعرف هذه التوصية المصطلحات التالية:

- 1.2.3 معدل الأرتال: عدد الأرتال الفريدة (أي مجموع الأرتال - الأرتال المتكررة) في الثانية.
- 2.2.3 أخطاء الإرسال المحاكاة: أخطاء تُفرض على تدفق بتات الفيديو الرقمية في بيئة تخضع لدرجة عالية من التحكم. ومن أمثلة ذلك محاكاة معدلات فقدان الرزم ومحاكاة أخطاء البتات. وتعرف على نحو واضح المعلومات المستخدمة للتحكم في أخطاء الإرسال المحاكاة.
- 3.2.3 أخطاء الإرسال: أي خطأ يُفرض على الإرسال الفيديوي. ومن أمثلة ذلك أنماط أخطاء الإرسال المحاكاة وظروف الشبكة الحية.

4 مختصرات

تستخدم هذه التوصية المختصرات التالية:

ACR	درجة الفئة المطلقة (انظر التوصية ITU-R BT.500) (<i>Absolute Category Rating</i>)
ACR-HR	درجة الفئة المطلقة مع مرجع خفي (انظر التوصية ITU-T P.910) (<i>Absolute Category Rating with Hidden Reference</i>)
AVI	تشذير سمعي فيديوي (<i>Audio Video Interleave</i>)
DMOS	متوسط فارق درجة الرأي (<i>Difference Mean Opinion Score</i>)
FR	مرجع كامل (<i>Full Reference</i>)
FRTV	تلفزيون مرجع كامل (<i>Full Reference TeleVision</i>)
HRC	دائرة مرجعية مفترضة (<i>Hypothetical Reference Circuit</i>)
ILG	مجموعة المختبرات المستقلة لفريق خبراء الجودة الفيديوية (VQEG) (<i>VQEG's Independent Laboratory Group</i>)
MOS	متوسط درجة الرأي (<i>Mean Opinion Score</i>)
MOSp	متوسط درجة الرأي، متنبأ به (<i>Mean Opinion Score, predicted</i>)
NR	لا (أو صفر) مرجع (<i>No (or Zero) Reference</i>)
PSNR	ذروة معدل الإشارة إلى الضوضاء (<i>Peak Signal-to-Noise Ratio</i>)
PVS	تتابع فيديو معالج (<i>Processed Video Sequence</i>)
RMSE	جذر متوسط الخطأ التربيعي (<i>Root Mean Square Error</i>)
RR	مرجع مخفّض (<i>Reduced Reference</i>)
SFR	معدل رتل المصدر (<i>Source Frame Rate</i>)
SRC	قناة أو دائرة مصدر المرجع (<i>Source Reference Channel or Circuit</i>)

VQEG فريق خبراء الجودة الفيديوية (Video Quality Experts Group)

YUV حيز اللون ونسق الملف (Colour Space and file format)

5 اصطلاحات

لا شيء.

6 وصف طرائق قياس المرجع المخفض

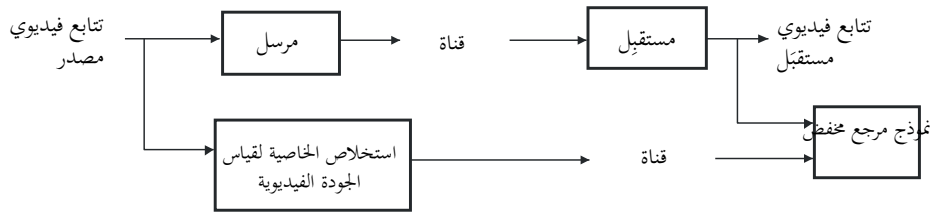
1.6 مقدمة

على الرغم من استخدام ذروة معدل الإشارة إلى الضوضاء (PSNR) على نطاق واسع كقياس موضوعي للجودة الفيديوية، فمن المعروف أيضاً أنه لا يمثل تماماً الجودة الفيديوية الإدراكية. ولدى تحليل كيف يدرك الناس الجودة الفيديوية، لوحظ أن جهاز الرؤية لدى الإنسان حساس لانحطاط الصورة عند الحواف. بعبارة أخرى، عندما تكون بيكسلات الحواف في الفيديو غير واضحة، يميل المقيّمون إلى إعطاء درجات تقييم منخفضة للفيديو حتى لو كانت ذروة معدل الإشارة إلى الضوضاء عالية. وبناءً على هذه الملاحظة، تم تطوير النماذج المرجعية المخفضة التي تقيس أساساً أحوال الانحطاط عند الحواف.

ويوضح الشكل 1 كيف يعمل نموذج مرجع مخفض. وتُستخلص من التتابع الفيديوي المصدر وترسل الخواص التي سوف تستخدم لقياس الجودة الفيديوية عند نقطة رصد ما. ويضم الجدول 1 عروض نطاق القنوات الجانبية من أجل الخواص، والتي اختبرت في إطار اختبار التلفزيون عالي الوضوح (HDTV) الذي قام به فريق خبراء الجودة الفيديوية (VQEG).

الشكل 1

مخطط بياني لنموذج المرجع المخفض



BT.1908-01

الجدول 1

عروض نطاق القنوات الجانبية

عروض النطاق المختبرة	نسق الفيديو
56 kbit/s, 128 kbit/s, 256 kbit/s	1080/60 Hz (29.97 fps) 1080/30Pp (29.97 fps)
56 kbit/s, 128 kbit/s, 256 kbit/s	1080/25Pp (25 fps) 1080/50I Hz (25 fps)

2.6 نموذج المرجع المخفض لذروة معدل الإشارة إلى الضوضاء (PSNR)

1.2.6 ذروة معدل الإشارة إلى الضوضاء عند الحواف (EPSNR)

تعتمد نماذج المرجع المخفض (RR) أساساً إلى قياس أحوال الانحطاط عند الحواف. وفي هذه النماذج، تطبق أولاً خوارزمية لتقصي الحواف في التابع الفيديوي المصدر لتحديد موقع بيكسلات الحواف. ويقاس بعدئذ مدى انحطاط بيكسلات الحواف هذه بحساب متوسط تربيع الخطأ. وتُحسب من متوسط تربيع الخطأ هذا قيمة PSNR عند الحواف.

ومن الممكن استخدام أي خوارزمية لتقصي الحواف، رغم احتمال وجود بعض الفوارق الطفيفة في النتائج. إذ يمكن مثلاً استعمال أي معامل تدرج لتحديد موقع بيكسلات الحواف. وقد اقترح عدد من معاملات التدرج. وفي العديد من خوارزميات تقصي الحواف، يتم أولاً حساب صورة التدرج الأفقي $g_{horizontal}(m,n)$ وصورة التدرج العمودي $g_{vertical}(m,n)$ باستعمال معاملات التدرج. ويمكن بعدئذ حساب صورة تدرج الحجم $g(m,n)$ على النحو التالي:

$$g(m,n) = |g_{horizontal}(m,n)| + |g_{vertical}(m,n)|$$

وأخيراً، تطبق عملية لتحديد العتبات على صورة تدرج الحجم للحصول على بيكسلات الحواف. بعبارة أخرى، تعتبر البيكسلات التي يتجاوز تدرج حجمها قيمة عتبية محددة بوصفها بيكسلات حواف.

وتوضح الأشكال من 2 إلى 6 هذا الإجراء. ويظهر الشكل 2 صورةً مصدرًا. ويظهر الشكل 3 صورة تدرج أفقي $g_{horizontal}(m,n)$ ، يتم الحصول عليها بتطبيق معامل تدرج أفقي على الصورة المصدر في الشكل 2. ويظهر الشكل 4 صورة تدرج عمودي $g_{vertical}(m,n)$ ، يتم الحصول عليها بتطبيق معامل تدرج عمودي على الصورة المصدر في الشكل 2. ويظهر الشكل 5 صورة تدرج الحجم (صورة الحواف) ويظهر الشكل 6 صورة الحواف الاثنينية (صورة القناع) التي يتم الحصول عليها بتطبيق قيم العتبة على صورة تدرج الحجم في الشكل 5.

الشكل 2

الصورة المصدر (الصورة الأصل)



BT.1908-02

الشكل 3

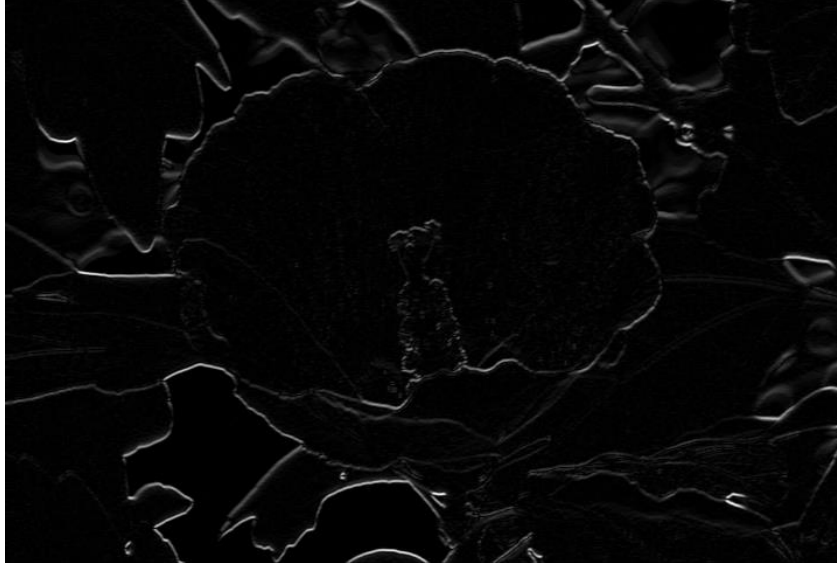
صورة تدرّج أفقي يُحصل عليها بتطبيق معامل تدرّج أفقي
على الصورة المصدر في الشكل 2



BT.1908-03

الشكل 4

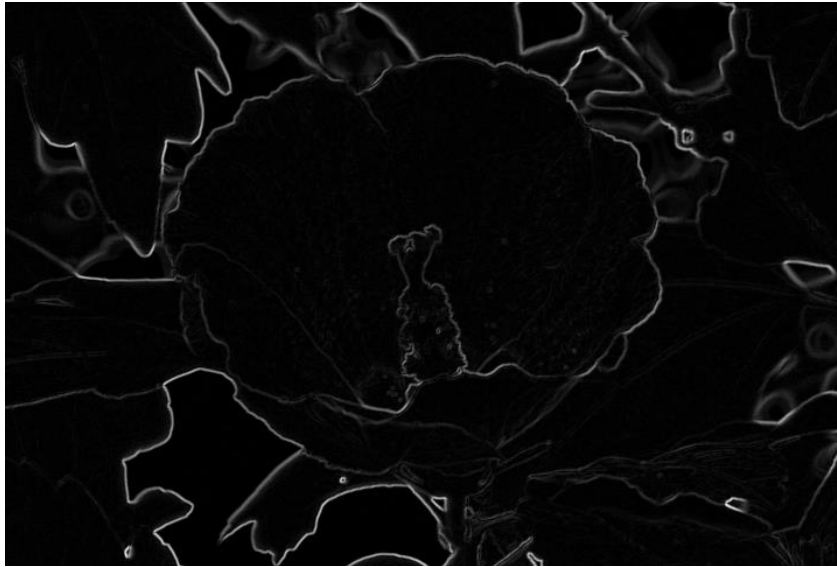
صورة تدرّج عمودي يُحصل عليها بتطبيق معامل تدرّج عمودي
على الصورة المصدر في الشكل 2



BT.1908-04

الشكل 5

صورة تدرّج الحجم



BT.1908-05

الشكل 6

صورة حواف اثنينية (صورة قناع) يُحصل عليها بتطبيق قيمة العتبة
على صورة تدرج الحجم في الشكل 5

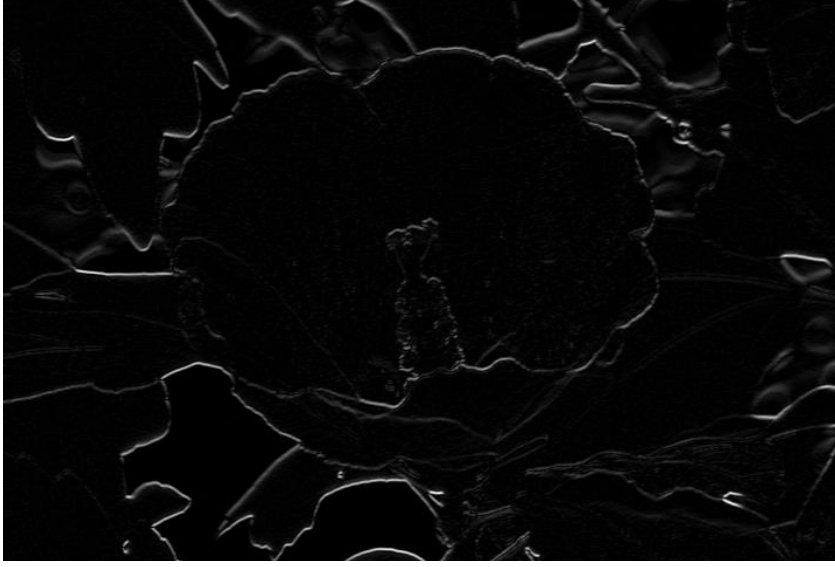


BT.1908-06

وبدلاً من ذلك، يمكن استعمال إجراء معدّل للوصول إلى بيكسلات الحواف. إذ يمكن مثلاً أن يطبق أولاً معامل تدرج عمودي على الصورة المصدر، والتوصل إلى صورة تدرج عمودي. ثم يطبق معامل تدرج أفقي على صورة التدرج العمودي، والتوصل إلى صورة تدرج متعاقبة معدّلة (صورة تدرج أفقي وعمودي). وأخيراً، يمكن تطبيق عملية تحديد عتبة على صورة التدرج المتعاقبة المعدّلة للتوصل إلى بيكسلات الحواف. بعبارة أخرى، تعتبر البيكسلات في صورة التدرج المتعاقبة المعدّلة، التي تتجاوز قيمة عتبية، بوصفها بيكسلات حواف. وتوضح الأشكال من 7 إلى 9 الإجراء المعدّل. ويظهر الشكل 7 صورة تدرج عمودي $g_{vertical}(m,n)$ ، يتم الحصول عليها بتطبيق معامل تدرج عمودي على الصورة المصدر في الشكل 2. ويظهر الشكل 8 صورة تدرج متعاقب معدّلة (صورة تدرج أفقي وعمودي) يتم الحصول عليها بتطبيق معامل تدرج أفقي على صورة التدرج العمودي في الشكل 7. ويظهر الشكل 9 صورة الحواف الاثنينية (صورة القناع) التي يتم الحصول عليها بتطبيق قيم العتبة على صورة التدرج المتعاقبة المعدّلة في الشكل 8.

الشكل 7

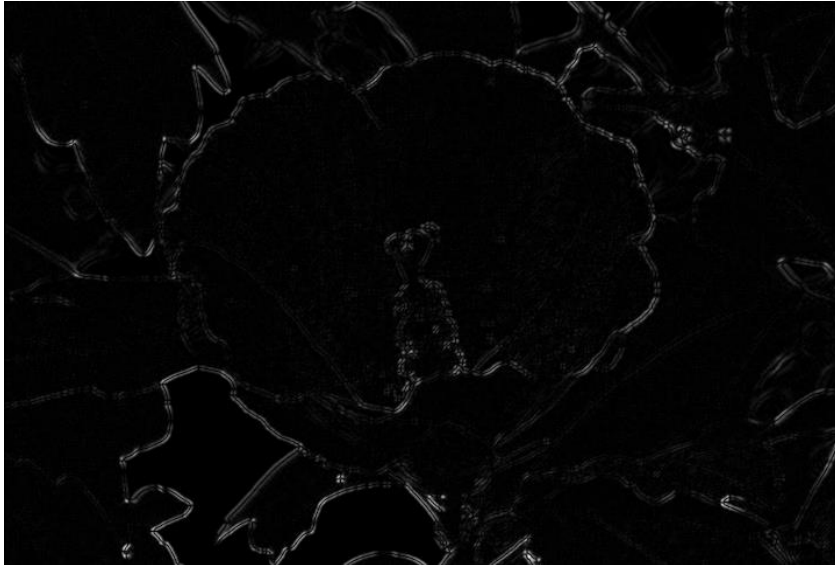
صورة تدرج عمودي يُحصل عليها بتطبيق معامل تدرج عمودي
على الصورة المصدر في الشكل 2



BT.1908-07

الشكل 8

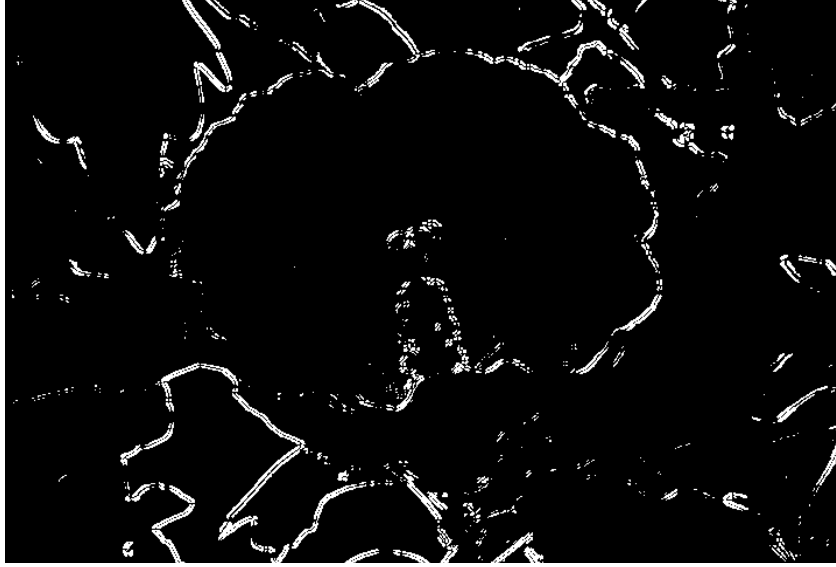
صورة تدرج متعاقب معدلة (صورة تدرج أفقي وعمودي) يتم الحصول عليها
بتطبيق معامل تدرج أفقي على صورة التدرج العمودي في الشكل 7



BT.1908-08

الشكل 9

صورة الحواف الاثنينية (صورة القناع) التي يتم الحصول عليها بتطبيق قيم العتبة
على صورة التدرج المتعاقب المعدلة في الشكل 8



BT.1908-09

ويلاحظ أن كلتا الطريقتين يمكن فهمهما بمثابة خوارزمية لتقصي الحواف. ويمكن اختيار أي خوارزمية لتقصي الحواف تبعاً لطبيعة أشرطة الفيديو وخوارزميات الضغط. ولكن أداء بعض الطرائق قد يفوق أداء الطرائق الأخرى.

وهكذا، في النموذج الراهن، يطبق أولاً معامل تقصي الحواف لإنتاج صور حواف (الشكلان 5 و 8). ثم تُنتج صورة قناع (صورة حافة اثنينية) بتطبيق قيمة العتبة على صور الحواف (الشكلان 6 و 9). بعبارة أخرى، توضع بيكسلات صور الحواف التي تكون قيمتها أصغر من العتبة t_e عند الصفر والبيكسلات التي تساوي قيمتها أو تزيد عن العتبة عند قيمة غير الصفر. وبما أنه يمكن مشاهدة الفيديو كتنابع من الأرتال أو الحقول، فيمكن تطبيق الإجراء المبين أعلاه على كل رتل أو حقل في الفيديو. وبما أنه يمكن استعمال النموذج للفيديوهات القائمة على الحقول أو الأرتال، فإن مصطلح "صورة" سوف يستعمل للدلالة على حقل أو رتل.

2.2.6 انتقاء الخواص من تنابعات فيديو مصدر

بما أن النموذج هو نموذج مرجع منخفض (RR)، فإن الأمر يستدعي استخلاص مجموعة من الخواص من كل صورة في تنابع فيديو مصدر. وفي نموذج ذروة معدل الإشارة إلى الضوضاء عند الحواف في المرجع المنخفض (RR EPSNR)، يُنتقى عدد معين من بيكسلات الحواف من كل صورة. وبعد ذلك، يتم تشفير قيم البيكسلات وإرسالها. ولكن عدد بيكسلات الحواف، في بعض التنابعات الفيديوية، قد يكون ضئيلاً جداً عند تطبيق قيمة عتبة ثابتة. وفي أسوأ سيناريو، يمكن أن تكون القيمة صفراً (صور خالية أو صور تردد منخفض جداً). ولمعالجة هذه المشكلة، إذا كان عدد بيكسلات الحواف في صورة ما أصغر من القيمة المعطاة، يمكن للمستعمل أن يخفض قيمة العتبة حتى يصبح عدد بيكسلات الحواف أكبر من القيمة المعطاة. وبدلاً من ذلك، يمكن انتقاء بيكسلات الحواف التي تقابل أكبر القيم في صورة التدرج الأفقي والعمودي. وعندما لا توجد بيكسلات حواف (أي صور خالية) في رتل ما، يمكن انتقاء العدد المطلوب عشوائياً أو تخطي الرتل. فمثلاً، إذا تعين انتقاء عشرة بيكسلات حواف من كل رتل، يمكن عندها فرز بيكسلات صورة التدرج الأفقي والعمودي بحسب قيمتها وانتقاء أكبر عشر قيم. ولكن هذا الإجراء قد ينتج بيكسلات حواف متعددة في مواقع متماثلة. ولمعالجة هذه المشكلة، يمكن أولاً انتقاء العدد المرغوب من بيكسلات صورة التدرج الأفقي والعمودي عدة مرات ومن ثم اختيار العدد المرغوب من بيكسلات الحواف عشوائياً من بين البيكسلات المنتقاة من صورة التدرج الأفقي والعمودي. وفي النماذج المختبرة في اختبار التلفزيون عالي الوضوح لفريق خبراء الجودة الفيديوية (VQEG HDTV)، يُنتقى العدد المرغوب من بيكسلات الحواف عشوائياً من بين مجموعة كبيرة من بيكسلات الحواف. ويتم الحصول على مجموعة البيكسلات هذه بتطبيق عملية تحديد العتبة على صورة التدرج.

وفي نماذج ذروة معدل الإشارة إلى الضوضاء عند الحواف في المرجع المنخفض (EPSNR RR)، يتم تشفير المواقع وقيم بيكسلات الحواف بعد تطبيق ترشيح تمرير منخفض (LPF) غوسي على مواقع البيكسلات المنتقاة. ومع أن الترشيح LPF الغوسي (7 × 3) قد استخدم في اختبار VQEG HDTV، يمكن استعمال مرشحي تمرير منخفض مختلفة تبعاً للأنساق الفيديوية. ويلاحظ أن من الممكن تطبيق عملية 'التقليم' أثناء عملية التشفير. وتجنباً لانتقاء بيكسلات حواف في المناطق 'المقلّمة'، فإن النموذج ينتقي بيكسلات الحواف في المنطقة الوسطى (الشكل 10). ويبين الجدول 2 الأحجام بعد التقليم. ويبين أيضاً عدد البتات المطلوبة لتشفير الموقع وقيمة البيكسل لأي من بيكسلات الحواف.

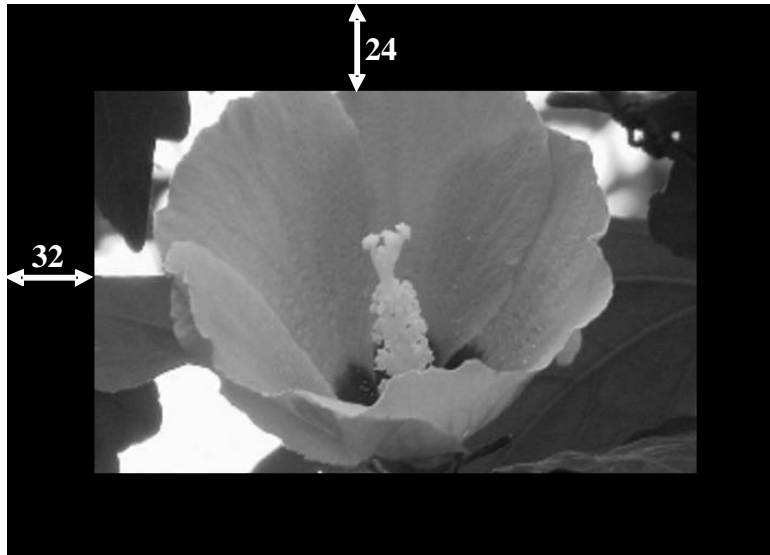
الجدول 2

البتات المطلوبة لكل بكسل حافة

النسق الفيديوي	الحجم	الحجم بعد التقليم	بتات الموقع	بتات قيمة البيكسل	مجموع البتات لكل بكسل
عالي الوضوح تدريجي	1 080 × 1 920	1 032 × 1 856	21	8	29
عالي الوضوح مشذر	540 × 1 920	516 × 1 856	20	8	28

الشكل 10

مثال التقليم والمنطقة الوسطى



BT.1908-10

ينتقي النموذج بيكسلات الحواف من كل رتل وفقاً لعرض النطاق المسموح به (الجدول 1). ويبين الجدول 3 عدد بيكسلات الحواف لكل رتل التي يمكن إرسالها من أجل عروض النطاق المختبرة.

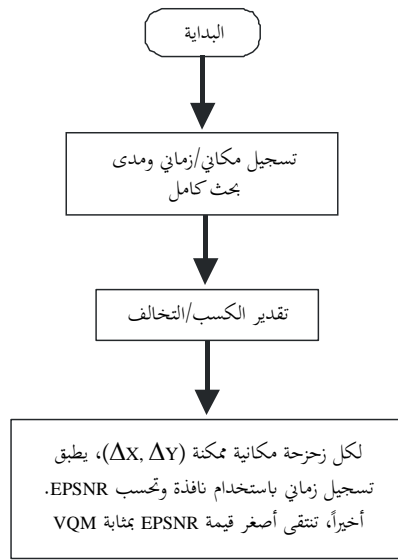
الجدول 3

عدد بيكسلات الحواف لكل رتل/حقل

النسق الفيديوي	kbit/s 56	kbit/s 128	kbit/s 256
عالي الوضوح تدريجي	46	105	211
عالي الوضوح مشدر	24	54	109

الشكل 11

مخطط انسيابي للنموذج



BT.1908-11

3.2.6 التسجيل المكاني/الزمني وتسوية الكسب/التخالف

قبل حساب الفرق بين بيكسلات الحواف في التابع الفيديوي المصدر وبيكسلات التابع الفيديوي المعالج، وهو التابع الفيديوي المستقبل عند المستقبل، يطبق النموذج أولاً عملية تسجيل مكاني/زمني وتسوية كسب/تخالف. وقد استخدمت طريقة المعايرة (الملحق B) في التوصية ITU-T J.244. ولإرسال خواص الكسب والتخالف بموجب التوصية ITU-T J.244 (الملحق B)، استعمل 30% من عروض النطاق المتاحة في اختبار VQEG HDTV. وعندما يكون التابع الفيديوي مشدراً، تطبق عملية المعايرة ثلاث مرات - الحقول الزوجية، والحقول الفردية، والأرتال المتوالفة - بينما تطبق طريقة المعايرة على الأرتال في التتابعات الفيديوية التدريجية. فإذا كان الفرق بين خطأ الحقول الزوجية (ذروة معدل الإشارة إلى الضوضاء PSNR) وخطأ الحقول الفردية أكبر من قيمة العتبة، تستخدم نتائج التسجيل (زحزحة x، زحزحة y) ذات الذروة PSNR الأصغر. وإلا، تستخدم نتائج التسجيل مع الأرتال المتوالفة. وفي اختبار VQEG HDTV، وضعت قيمة العتبة عند 2 dB.

وعند نقطة الرصد، ينبغي تسوية التابع الفيديوي المعالج مع بيكسلات الحواف المستخرجة من التابع الفيديوي المصدر. ولكن إذا كان عرض نطاق القناة الجانبية صغيراً، فلا يتيسر سوى بضعة بيكسلات حواف من التابع الفيديوي المصدر (الشكل 12). ومن ثم قد يكون التسجيل الزمني غير دقيق إذا تم باستعمال رتل وحيد (الشكل 13). ولمعالجة هذه المشكلة، يستخدم النموذج نافذة من أجل التسجيل الزمني. وبدلاً من استعمال رتل وحيد من التابع الفيديوي المعالج، ينشئ النموذج نافذة تتألف من عدد

من الأرتال المتجاورة للتوصل إلى الزحزحة الزمانية المثلى. ويوضح الشكل 14 هذا الإجراء. ويحسب متوسط الخطأ التربيعي (MSE) ضمن النافذة على النحو التالي:

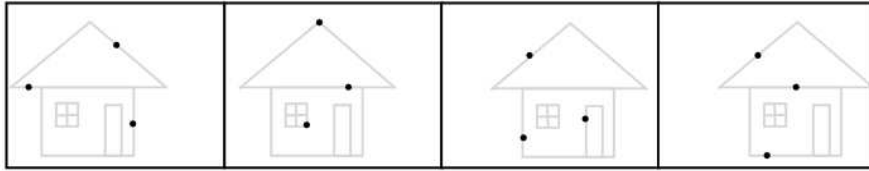
$$MSE_{window} = \frac{1}{N_{win}} \sum (E_{SRC}(i) - E_{PVS}(i))^2$$

حيث MSE_{window} هو متوسط الخطأ التربيعي للنافذة، و $E_{SRC}(i)$ هو بكسل حافة ضمن النافذة له بكسل مقابل في التابع الفيديوي المعالج، و $E_{PVS}(i)$ هو بكسل التابع الفيديوي المعالج الذي يقابل بكسل الحافة، و N_{win} هو مجموع عدد بيكسلات الحواف المستعملة لحساب MSE_{window} . ويستعمل متوسط الخطأ التربيعي للنافذة هذا بمثابة الفرق بين رتل في التابع الفيديوي المعالج والرتل المقابل في التابع الفيديوي المصدر.

ويمكن تحديد حجم النافذة بالنظر إلى طبيعة التابع الفيديوي المعالج. وفي تطبيق نموذجي، يوصى باستخدام نافذة تقابل ثانيتين. وبدلاً من ذلك، يمكن تجربة نوافذ من أحجام شتى واستخدام أفضلها مما يؤمن أصغر قدر من متوسط الخطأ التربيعي. وعلاوةً على ذلك، يمكن استخدام مراكز نوافذ مختلفة للنظر في تخطي الأرتال نتيجة أخطاء الإرسال (الشكل 18).

الشكل 12

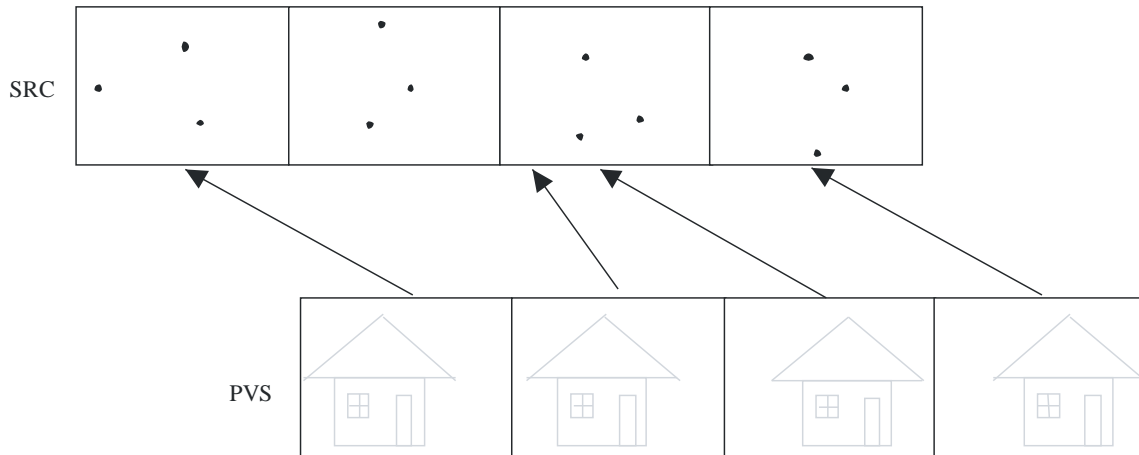
انتقاء بيكسلات الحواف في التابع الفيديوي المصدر



BT.1908-12

الشكل 13

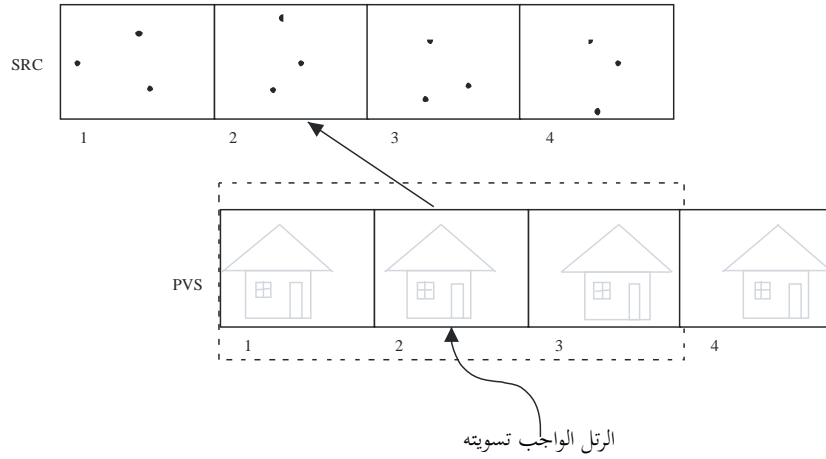
تسوية التابع الفيديوي المعالج مع بيكسلات الحواف في التابع الفيديوي المصدر



BT.1908-13

الشكل 14

تسوية التتابع الفيديوي المعالج مع بيكسلات الحواف باستخدام نافذة



BT.1908-14

عندما يشفر التتابع الفيديوي المصدر بمعدلات ضغط عالية، يمكن للمشفر أن يخفض عدد الأرتال في الثانية ويكون للتتابع الفيديوي المعالج أرتالاً متكررة (الشكل 15). وفي الشكل 15، ليس للتتابع الفيديوي المعالج أرتالاً تقابل بعض أرتال التتابع الفيديوي المصدر (الأرتال ذات الترتيب 2 و 4 و 6 و 8). وفي هذه الحالة، لا يستعمل النموذج أرتالاً متكررة في حساب متوسط الخطأ التربيعي. بعبارة أخرى، يقوم النموذج بعملية تسجيل زمني باستعمال الرتل الأول (رتل صالح) من كل فدة متكررة. وهكذا يستخدم، في الشكل 16، مجرد ثلاثة أرتال (ذات الترتيب 3 و 5 و 7) ضمن النافذة لعملية التسجيل الزمني.

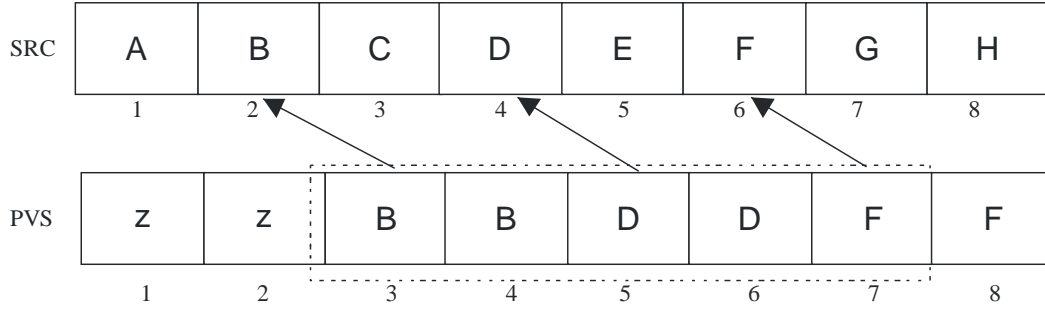
الشكل 15

مثال لأرتال متكررة

SRC	A	B	C	D	E	F	G	H
	1	2	3	4	5	6	7	8
PVS	A	A	C	C	E	E	G	G
	1	2	3	4	5	6	7	8

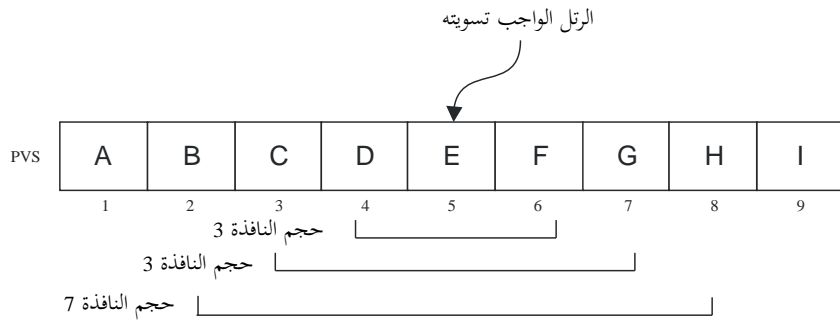
BT.1908-15

الشكل 16
تسليم الأرتال المتكررة



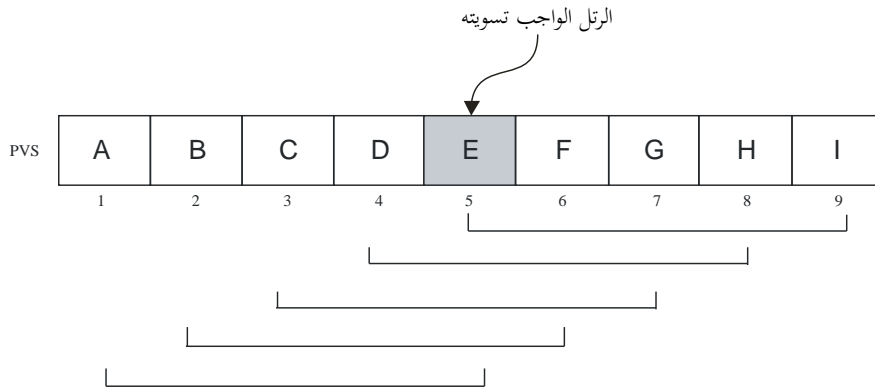
BT.1908-16

الشكل 17
نوافذ من أحجام مختلفة



BT.1908-17

الشكل 18
مراكز النوافذ



BT.1908-18

4.2.6 حساب ذروة معدل الإشارة إلى الضوضاء عند الحواف (EPSNR) والمعالجة اللاحقة

بعد عملية التسجيل الزمني، يحسب متوسط الفروق بين بيكسلات الحواف في التتابع الفيديوي المصدر والبيكسلات المقابلة في التتابع الفيديوي المعالج، الذي يمكن أن يفهم بأنه متوسط الخطأ التريعي في الحافة في التتابع الفيديوي المعالج (MSE_{edge}). وأخيراً، تحسب قيمة EPSNR (أي قيمة PSNR عند الحواف) على النحو التالي:

$$EPSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{P^2}{MSE_{edge}} \right)$$

حيث p هي قيمة الذروة في الصورة.

وبما أن من شأن تشوهات شتى أن تخفض من الجودة الفيديوية، تتم تسوية قيمة EPSNR بالنظر في هذه الآثار التي تحدد كمياً في الفقرات التالية.

(1) مقياس السد I

للنظر في آثار السد، يحسب متوسط فروق العمود. وبافتراض عملية 'مودولو' 8، يحسب تقدير درجة السد للرتل الذي ترتيبه i على النحو التالي:

$$Blk[i] = \frac{\text{أكبر فرق عمود}}{\text{ثاني أكبر فرق عمود}}$$

يحسب تقدير درجة السد النهائي (Blocking) بحساب متوسط درجات السد في الرتل.

$$Blocking = \frac{1}{\text{عدد الأرتال}} \sum_i Blk[i]$$

أخيراً، تستعمل المعادلات التالية:

IF(BLOCKING > 12 and 25 ≤ EPSNR < 30)	adjust_EPSNR_blk1=3
IF(BLOCKING > 5 and 30 ≤ EPSNR < 35)	adjust_EPSNR_blk1=5

(2) مقياس السد II

بافتراض أن تشوهات السد يمكن أن تحدث كل ثامن عمود (كما في MPEG2 مثلاً) يستخدم أيضاً مقياس سد ثان. ولحساب مقياس السد الثاني، يحسب أولاً الفرق الأفقي المطلق على النحو التالي (الشكل 19):

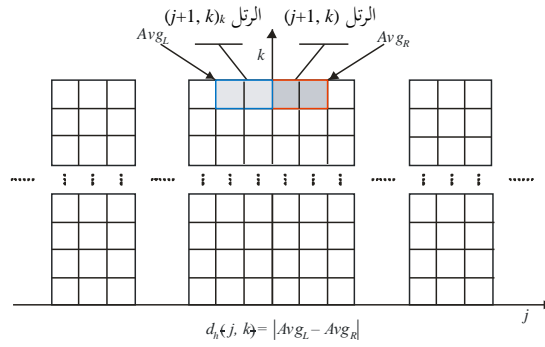
$$d_h(j, k) = |Avg_L - Avg_R|$$

حيث:

$$Avg_R = \frac{1}{2} \sum_{p=1}^2 Frame(j+p, k) \quad , \quad Avg_L = \frac{1}{2} \sum_{p=-1}^0 Frame(j+p, k)$$

الشكل 19

حساب الفرق الأفقي المطلق $(d_h(j, k))$



BT.1908-19

ثم يعرف مجموع السد الأفقي (SB_h) عند الموقع j على النحو التالي:

$$SB_h[j] = \left(\sum_{1 \leq k \leq height} (|Frame(j, k) - Frame(j+1, k)| \times u(d_h(j, k) - \Phi(Avg_L))) \right)^2$$

حيث تمثل $u(\cdot)$ دالة وحدة الخطوة وتكون:

$$\Phi(s) = \begin{cases} 17(1 - \sqrt{s/127}) + 3 & \text{عندما } 2 \leq 127 \\ 3(s - 127)/128 + 3 & \text{خلاف ذلك} \end{cases}$$

وبعد تكرار الإجراء بالنسبة لجميع الأرتال، يتم حساب السد الأفقي للأرتال (FB_h) على النحو التالي:

$$FB_h = \left(\sum_{\substack{1 \leq j \leq width \\ j \equiv 0 \pmod{8}}} SB_h(j) \right)^{1/2}$$

وبالنسبة لكل رتل، يحسب فرق العمود (NFB_h) باستثناء كل ثامن عمود، كما يلي:

$$NFB_h = \frac{1}{7} \sum_{l=1}^7 \left(\sum_{\substack{1 \leq j \leq width \\ j \equiv l \pmod{8}}} \left(\sum_{1 \leq k \leq height} (|Frame(j, k) - Frame(j+1, k)| \times u(d_h(j, k) - \Phi(Avg_L))) \right)^2 \right)^{1/2}$$

ثم تُحسب خاصية السد الأفقي النهائية، BLK_H ، كما يلي:

$$BLK_H = \ln(FB_h / NFB_h)$$

ويتم على غرار ذلك حساب خاصية السد العمودي، BLK_V . وبالنسبة للتابعات الفيديوية المشدرة، تحسب خاصية السد العمودي في تتابع الحقل. ويحسب تقدير درجة سد الرتل الذي ترتيبه i ، كما يلي:

$$FrameBLK(i) = 0.5 \times BLK_H + 0.5 \times BLK_V$$

ويساوي تقدير درجة السد النهائي $(BLOCKING2)$ متوسط 10% من درجات سد الأرتال العليا.

وأخيراً، تستعمل المعادلات التالية:

IF(BLOCKING2 > 1.5 and 25 ≤ EPSNR<30)	adjust_EPSNR_blk2=2
IF(BLOCKING2 > 1.3 and 30 ≤ EPSNR<35)	adjust_EPSNR_blk2=2
IF(BLOCKING2 > 1.5 and 35 ≤ EPSNR<40)	adjust_EPSNR_blk2=2
IF(BLOCKING2 > 1 and 40 ≤ EPSNR<45)	adjust_EPSNR_blk2=2
IF(BLOCKING2 > 0.5 and 45 ≤ EPSNR<55)	adjust_EPSNR_blk2=2

وكما يبدو في المعادلات الواردة أعلاه، فإن آثار هذه التسوية طفيفة على قيمة EPSNR النهائية. فإذا كانت تشوهات السد لا تحدث كل ثامن عمود، فمن الممكن تخطي هذه التسوية أو العثور أولاً على مواقع السد. ومن الممكن أيضاً استعمال دالة مختلفة من أجل $\Phi(s)$.

(3) الحد الأقصى من الأرتال المجمدة ومجموع الأرتال المجمدة

قد تتسبب أخطاء الإرسال في أرتال مجمدة طويلة. وللنظر في الأرتال المجمدة الطويلة، تطبق المعادلات التالية:

IF(MAX_FREEZE ≥ 8 and 25 ≤ EPSNR<30)	adjust_EPSNR_max_freeze=3
IF(MAX_FREEZE ≥ 6 and 30 ≤ EPSNR<35)	adjust_EPSNR_max_freeze=3
IF(MAX_FREEZE ≥ 3 and 35 ≤ EPSNR<40)	adjust_EPSNR_max_freeze=3
IF(MAX_FREEZE ≥ 1.5 and 40 ≤ EPSNR<45)	adjust_EPSNR_max_freeze=2
IF(MAX_FREEZE ≥ 1 and 45 ≤ EPSNR<95)	adjust_EPSNR_max_freeze=2

حيث MAX_FREEZE هي أطول فترة لأرتال متجمدة. ويلاحظ أنه إذا لم تكن مدة التتابع الفيديوي 10 ثوان، فينبغي استعمال قيم عتبية مختلفة.

وكذلك، يعتبر مجموع الأرتال المجمدة كما يلي:

IF(TOTAL_FREEZE ≥ 80 and 25 ≤ EPSNR<30)	adjust_EPSNR_total_freeze=3
IF(TOTAL_FREEZE ≥ 40 and 30 ≤ EPSNR<35)	adjust_EPSNR_total_freeze=4
IF(TOTAL_FREEZE ≥ 10 and 35 ≤ EPSNR<40)	adjust_EPSNR_total_freeze=3.5
IF(TOTAL_FREEZE ≥ 2 and EPSNR ≥ 40)	adjust_EPSNR_total_freeze=1.5

حيث TOTAL_FREEZE هو مجموع فترة الأرتال المجمدة. ويلاحظ أنه إذا لم تكن مدة التتابع الفيديوي 10 ثوان، فينبغي استعمال قيم عتبية مختلفة.

(4) السد الناجم عن أخطاء الإرسال

قد يحدث تجمد محلي للفدرات بسبب أخطاء الإرسال. وكذلك يلاحظ، في المشاهد الساكنة، أن بعض الفدرات ماثلة للفدرات في الأرتال السابقة في نفس المواقع. وللنظر في الفدرات المتجمدة محلياً بسبب أخطاء الإرسال، تصنف الفدرات التي تحتوي على بيكسلات الحواف المرسله إما بوصفها فدرات متماثلة (أي فدرات ماثلة للفدرات في الأرتال السابقة) أو بوصفها فدرات مختلفة. وبعدئذ، تحسب ذروتان EPSNR للفدرات المتماثلة وللفدرات المختلفة. فإذا كان الفرق بين الذروتين EPSNR_diff (EPSNR_diff كبيراً، فيعني ذلك إمكانية حدوث أخطاء في الإرسال. وبناءً على هذه الملاحظة، تتم تسوية الذروة EPSNR كما يلي:

IF(8 ≤ EPSNR_diff ≤ 30 and 25 ≤ EPSNR < 30)	adjust_EPSNR_diff = 3
IF(9 ≤ EPSNR_diff ≤ 30 and 30 ≤ EPSNR < 35)	adjust_EPSNR_diff = 4
IF(10 ≤ EPSNR_diff ≤ 30 and 35 ≤ EPSNR < 40)	adjust_EPSNR_diff = 6
IF(9 ≤ EPSNR_diff < 10 and 35 ≤ EPSNR < 40)	adjust_EPSNR_diff = 2
IF(9 ≤ EPSNR_diff ≤ 30 and 40 ≤ EPSNR < 45)	adjust_EPSNR_diff = 4

ولكن إذا كان مجموع عدد الفدرات المتماثلة أقل من 100، فلا حاجة لأي تسوية.

(5) التسوية النهائية للذروة للـ EPSNR

أخيراً، تسوى قيمة الذروة EPSNR كما يلي:

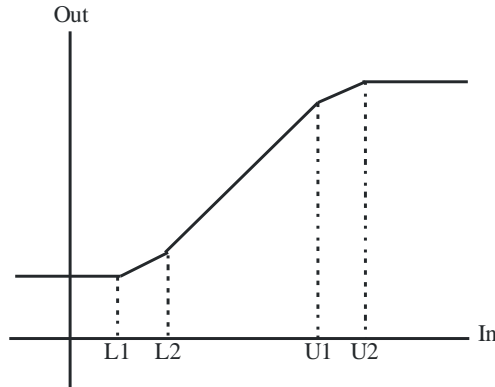
$$\text{EPSNR} \leq \text{EPSNR} - \text{MAX}(\text{adjust_EPSNR_blk1}, \text{adjust_EPSNR_blk2}, \text{adjust_EPSNR_max_freeze}, \text{adjust_EPSNR_total_freeze}, \text{adjust_EPSNR_diff})$$

(6) التكيف الخطي قطعة تلو الأخرى

عندما تتجاوز الذروة EPSNR قيمة معينة، تصبح الجودة الإدراكية مشبعة. وفي هذه الحالة، من الممكن وضع الحد الأعلى للذروة EPSNR. وعلاوةً على ذلك، عندما يكون من المستصوب إقامة علاقة خطية بين الذروة EPSNR ومتوسط فارق درجة الرأي (DMOS)، من الممكن تطبيق دالة خطية قطعة تلو الأخرى، كما هو موضح في الشكل 20. وفي النموذج المختبر في اختبار التلفزيون عالي الوضوح لفريق خبراء الجودة الفيديوية (VQEG HDTV)، وُضع الحد الأعلى عند 50 والحد الأدنى عند 19.

الشكل 20

الدالة الخطية قطعة تلو الأخرى لعلاقة خطية
بين DMOS و EPSNR



التذييل 1 (للعلم)

استنتاجات فريق خبراء الجودة الفيديوية (VQEG)

أجريت دراسات لقياسات الجودة الفيديوية الإدراكية في إطار فريق غير رسمي، يدعى فريق خبراء الجودة الفيديوية (VQEG)، يرفع تقاريره إلى لجنتي الدراسات 9 و12 في قطاع تقييس الاتصالات. وقام الفريق VQEG، في إطار اختبار المرحلة I للتلفزيون عالي الوضوح أجري مؤخراً، بتقييم أداء خوارزميات مقترحة لقياس الجودة الفيديوية الإدراكية لإشارة مرجعية كاملة.

والإحصاءات الواردة أدناه مستقاة من التقرير النهائي للفريق VQEG. ويلاحظ أن صلب التقرير يشتمل على مقاسات أخرى بما فيها علاقة ترابط Pearson وعلاقة جذر متوسط الخطأ التربيعي (RMSE) محسوبة على فرادى التجارب، وفواصل الثقة، واختبار الدلالة الإحصائية على فرادى التجارب، والتحليل المجرى على مجموعات فرعية من البيانات التي تشتمل على تشوهات معينة (مثل تشفير التوصية ITU-T H.264 فقط)، ومنحنيات التشتت، ومعاملات التكييف.

التحليل الأولي

يرد أداء نموذج المرجع المخفض RR بإيجاز في الجدول 4. وذروة معدل الإشارة إلى الضوضاء (PSNR) محسوب بموجب التوصية ITU-T J.340 ومدرج في هذا التحليل لأغراض المقارنة. وتعرّف "المجموعة الكبرى RMSE" المقاس الأولي (RMSE المحسوب على المجموعة الكبرى التجميعية (أي أن بيانات التجارب الست كلها مدونة في مقياس واحد)). ويعرّف "مجموع فئة الأداء الأعلى" عدد التجارب (0 إلى 6) التي كان فيها هذا النموذج إما نموذج الأداء الأعلى أو مكافئاً إحصائياً لنموذج الأداء الأعلى. ويعرّف "مجموع ما هو أفضل من PSNR" عدد التجارب (0 إلى 6) التي كان فيها النموذج إحصائياً أفضل من PSNR. ويُدْرَج "ما هو أفضل من المجموعة الكبرى PSNR" علاقة ترابط Pearson محسوبة على المجموعة الكبرى التجميعية.

الجدول 4

المقاس	PSNR	Yonsei56k	Yonsei128k	Yonsei256k
المجموعة الكبرى RMSE	0,71	0,73	0,73	0,73
مجموع فئة الأداء الأعلى	6	4	4	4
مجموع ما هو مكافئ أو أفضل من PSNR	6	4	4	4
ما هو مكافئ أو أفضل من PSNR	نعم	نعم	نعم	نعم
علاقة ترابط المجموعة الكبرى	0,78	0,77	0,77	0,77

وبما أن أداء النموذج مماثل إحصائياً لعروض النطاق الثلاثة، يوصى باستعمال هذا النموذج مع قناة جانبية بعرض نطاق لا يقل عن 56 kbit/s.

التحليل الثانوي

يُدْرَج الجدول 5 قيم جذر متوسط الخطأ التربيعي (RMSE) لنموذج المرجع المخفض (RR)، للتقسيمات الفرعية في المجموعة الكبرى. وتقسّم هذه التقسيمات الفرعية البيانات بحسب نمط التشفير (MPEG-2 أو ITU-T H.264) وكذلك بحسب وجود أخطاء الإرسال (Errors) أو ما إذا كانت الدارة المرجعية المفترضة (HRC) تحتوي على شوائب تشفير فقط (Coding). وبما أن

التجارب لم تكن مصممة بحيث تكون فيها هذه المتغيرات موزعة بانتظام في كامل مدى الجودة، فلا تعرض سوى قيم RMSE بالنسبة لهذه التقسيمات الفرعية.

الجدول 5

Yonsei256k	Yonsei128k	Yonsei56k	PSNR	HRC نط
0,65	0,65	0,65	0,75	تشفير H,264
0,86	0,85	0,86	0,67	خطأ H,264
0,80	0,81	0,81	0,78	تشفير MPEG-2
0,68	0,68	0,68	0,66	خطأ MPEG-2
0,69	0,69	0,69	0,75	تشفير
0,79	0,78	0,79	0,67	خطأ

بيبلوغرافيا

Recommendation ITU-T P.910 (2008), *Subjective video quality assessment methods for multimedia applications.*

Recommendation ITU-T P.911 (1998), *Subjective audiovisual quality assessment methods for multimedia applications.*

Recommendation ITU-T J.143 (2000), *User requirements for objective perceptual video quality measurements in digital cable television.*

Recommendation ITU-R BT.500, *Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures.*

Recommendation ITU-T J.340 (2010), *Reference algorithm for computing peak signal to noise ratio of a processed video sequence with compensation for constant spatial shifts, constant temporal shift, and constant luminance gain and offset.*