التوصيـــة ITU-R BT.1687-1

تخفيض معدل بتات الفيديو لتوزيع* تطبيقات الصور الرقمية المعروضة على شاشة كبيرة في الوقت الفعلي في بيئة مسرحية

(المسألة ITU-R 15-1/6)

(2006-2004)

مجال التطبيق

تتناول هذه التوصية تخفيض معدل بتات الفيديو لتوزيع تطبيقات الصور الرقمية المعروضة على شاشة كبيرة في الوقت الفعلي في بيئة مسرحية وتشمل أمثلة عن معدلات البتات للإشارات المضغوطة، لفريق الخبراء المعني بالصورة المتحركة MPEG-2 وفريق الخبراء المعني بالصورة المتحركة/التحكم الأوتوماتي في حجم الصوت MPEG-4/AVC، المستعمَلة في تطبيقات الصور الرقمية المعروضة على شاشة كبيرة (LSDI). وتعرّف توصية ITU-R BT.1680 الصادرة عن قطاع الاتصالات الراديوية أنظمة الصور الرقمية الخاصة بتوزيع برامج الصور الرقمية المعروضة على شاشة كبيرة في نطاق أساسي.

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) أن من المستحب أن يحافظ توزيع وعرض البرامج الرقمية على شاشة كبيرة على المحتوى الإبداعي ونوعية الصورة لبرنامج التوزيع[1]، في حدود ما تسمح به شروط عرض البرنامج المقرر؛

ب) أن التوصية ITU-R BT.1680 تدعو إلى استخدام أنظمة الصور الرقمية التي تلبي متطلبات تطبيقات الصور الرقمية المعروضة على شاشة كبيرة في بيئة مسرحية، وينبغي أن تستخدم في توزيع هذه التطبيقات؛

ج) أن من الضروري، عند توزيع تطبيقات الصور الرقمية المعروضة على شاشة كبيرة، تخفيض معدل بتات إشارات البرنامج، بهدف الحفاظ على معدل بتّات مقبول ومن ثم تخفيض وقت وتكلفة الإرسال، دون إفساد نوعية البرنامج كما يراها المشاهد؛

د) أن استبانة النظام البصري البشري لتفاصيل النصوع أكبر بكثير من استبانته لتفاصيل الألوان؛

هـ) أن فريق العمل ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 11 أنجز وقدّم دراسات معمّقة عن معدل البتات اللازم لضمان ضغط فيديوي شبه شفاف[2] بفضل خوارزميات ضغط وأنظمة صور متنوعة[3]؛

---

* يعرف الاتحاد الدولي للاتصالات "التوزيع" كما يلي: "بث البرامج التلفزيونية عندما لا يعود متوقعاً إجراء أي معالجة بعد مرحلة الإنتاج".

[1] يستخدم مصطلح "برنامج التوزيع" هنا للدلالة على برنامج محصل بعد تكييف البرنامج الأصلي (من حيث المحتوى والنوعية) مع وسط التوزيع.

[2] يعرّف الاتحاد الدولي للاتصالات "التخفيض الشفاف لمعدل البتات" بأنه "عملية تخفيض معدل البتات التي لا تؤثر في النوعية الشخصية للتتابعات السمعية أو الفيديوية".

[3] انظر مثلاً إلى الوثيقة ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 11 – MPEG2003/N6231، ديسمبر 2003، وايكولوا، – Report of The Formal Verification Tests on AVC (ISO/CEI 14496-10- ITU-T Rec. H264).

و) أن هذه الاختبارات أكّدت أن التشفير MPEG-2 ذي التركيبة MP@HL بواسطة مشفر مستمثل[4] عند 20 Mbit/s، يعتبر في الواقع شبه شفاف إزاء نوعية إشارة المصدر بالنسبة لأنظمة الصور الواردة في التوصية ITU-R BT.1680، والتي تقدم ترددات صورة مقدارها 25 أو 30 Hz ومسحاً تدريجياً أو مشذراً؛

ز) أن الانضغاط الفيديوي MPEG-2 متاح ومستخدم اليوم على نطاق واسع، ومطابق لسياسة الاتحاد الدولي للاتصالات فيما يتعلق بسياسة البراءات؛

ح) أنه تم في الآونة الأخيرة وضع نظام جديد للانضغاط الفيديوي مستمد من المعيار MPEG-2 يطلَق عليه نظام تشفير المصدر MPEG-4/AVC (التوصية ITU-T H.264) وأنه يتيح فعالية انضغاط تبلغ ضعف فعالية المعيار MPEG-2 تقريباً، حتى على مستوى التطبيقات الأولية لكودكاته؛

ط) أنه تم مؤخراً وضع تمديدات للصيغة الأولى من نظام تشفير المصدر MPEG-4/AVC، يُطلَق عليها تمديدات مدى الدقة (Fidelity Range Extensions, FRExt)، وتسمح بتشفير أكثر فعالية مما تسمح به أنظمة الصور 1080/1920p بسرعة 50 و60 صورة/الثانية؛

ي) أن استخدام نظام تشفير المصدر MPEG-4/AVC قد يمثل خياراً مهماً بالنسبة لتطبيقات الصور الرقمية المعروضة على شاشة كبيرة (LSDI)، لأن توزيع البرامج يتطلب معدل بتات صاف أدنى بكثير، رغم أن الكودكات MPEG-4/AVC تعتبر أكثر تعقيداً وبالتالي قد تكون نسبياً أكثر تكلفة؛

ك) أن النظام MPEG-4/AVC يتيح مرونة أكبر في اختيار معلمات تشفير الصورة، مثل الاعتيان 4:4:7، 10 أو 12 بتة/عينة، وترددات صورة تفوق 72 Hz؛

ل) أن بلداناً عديدة تقدم اليوم خدمات لعرض تطبيقات الصور الرقمية المعروضة على شاشة كبيرة بهدف عرضها في بيئة مسرحية، أو تزمع القيام بذلك في المستقبل القريب،

توصـــي

1 في عمليات التنفيذ الأولى لتطبيقات الصور الرقمية المعروضة على شاشة كبيرة (LSDI) التي يستهدف عرضها في بيئة مسرحية، باستخدام إشارة فيديو رقمية في نطاق أساسي طبقاً للتوصية ITU-R BT.1680 عند سطحي الدخل والخرج البينيين لسلسة توزيع الصور الرقمية المعروضة على شاشة كبيرة؛

2 بالنظر إلى أن استبانة النظام البصري البشري لتفاصيل النصوع أكبر بكثير من استبانته لتفاصيل الألوان، باستخدام تشفير فيديوي 4:2:0 أو بالأحرى تشفير فيديوي 4:2:2 لتوزيع برامج LSDI في بيئة مسرحية؛

3 نظراً إلى أن إشارة برنامج الصور الرقمية المعروضة على شاشة كبيرة (LSDI) لا تخضع عادة لمعالجة الصور الإبداعية بعد توزيعها، بتفضيل استخدام تخفيض معدل البتات بين الأرتال لتوزيع برامج LSDI في بيئة مسرحية، لأن هذه الأخيرة تضمن فعالية انضغاط أكبر من فعالية التشفير ضمن الأرتال؛ ومن المسلم به أنه عندما يكون إدراج برنامج محلي (قائمة مقررات التجميع والترتيب أو قائمة التوزيع) مطلوباً، فإنه يفضل استخدام التشفير ضمن الأرتال وفي مثل هذه الحالة يمكن أن تكون القيمة الدنيا لمعدل بتات الفيديو عالية نسبياً؛

4 نظراً إلى أن تخفيض معدل البتات المستخدم في قناة التوزيع يجب أن يكون في الواقع شبه شفاف فيما يتعلق بنوعية برنامج التوزيع في ظروف العرض المتوقعة، بالتفكير في المستقبل القريب في طريقة تخفيض معدل البتات ضمن الأرتال MPEG-2 بالتركيبة MP@HL (HiQ) ونسبة بتات فيديو صافية دنيا تعادل 20 Mbit/s من أجل القيام في الوقت الفعلي

---

[4] يستخدم مصطلح "مشفر مستمثل" للدلالة على مشفر MPEG-2 مثبت في العتاد ويقدم حلولاً متقدمة، أي أنه مستمثل إزاء المشفر "النموذج المرجعي" MPEG-2 TM5، الذي يطبق في البرامجيات واعتمد من قبل فريق العمل ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 11 كمقياس للأداء.

بتقديم برامج الصور الرقمية المعروضة على شاشة كبيرة في بيئة مسرحية. وسيتطلب استخدام التشفير عند السوية 4:2:2 @HL معدل بتات عال نسبياً؛

5 بالنظر أيضاً في تطبيق طريقة تخفيض معدل البتّات MPEG-4/AVC كبديل مهم، لاسيما عندما يكون مستحباً استخدام معدل بتّات صاف أكثر انخفاضاً لتوزيع برامج الصور الرقمية المعروضة على شاشة كبيرة، ويكون اللجوء إلى كودكات أكثر تعقيداً نسبياً مقبولاً؛

الملاحظة 1 – توجد النسخة الإلكترونية للتوصية ITU-T H.264 على العنوان التالي: http://www.itu.int/md/R03-SG06-C-0211/en.

6 بالقيام في الوقت المناسب بتحليل إمكانات استخدام الكودكات التي من شأنها أن تظهر مستقبلاً وتتسم بفعالية أكبر من حيث الانضغاط، عندما تصبح مطابقة لسياسة الاتحاد الدولي للاتصالات فيما يتعلق بالبراءات، وتخضع لاختبار عميق وتصبح متاحة على نطاق واسع وتكون من الأفضل قابلة للتشغيل البيني بواسطة الكودكين MPEG-2 وMPEG-4/AVC.

التذييل 1
(إعلامـــي)
أمثلة عن المعلمات والأدوات الأساسية المستخدمة في تشفير مصدر أشكال مختلفة من أنظمة الصور الرقمية المعروضة على شاشة كبيرة المحددة في التوصية ITU-R BT.709 على أساس النظام MPEG-4/AVC (التوصية ITU-T H.264)

يقدم هذا التذييل أمثلة عن المعلمات والأدوات الأساسية المستخدمة في طريقة تشفير المصدر بواسطة النظام MPEG-4/AVC (التوصية ITU-T H.264)، المطبّقة على أشكال مختلفة من أنظمة الصور الرقمية المعروضة على شاشة كبيرة المحددة في التوصية ITU-R BT.709-5 (الجزء الثاني). كما يشير إلى معدلات البتات اللازمة لنقل شبه شفاف للإشارات عندما تكون مشفرة في المصدر بالطريقة المذكورة.

عضو عائلة التوصية UIT-R BT. 709	المعلمات والأدوات الأساس الخاصة بالنظام MPEG-4/AVC		معدل البتّات لنقل شبه شفاف
1 920 × 1 080 × 24/25p	**السوية 4**		Mbit/s 11-9 – نوعية المساهمة
	أدوات التشفير	**عال 10**	Mbit/s 10-7 – نوعية التوزيع
	أدوات المظهر الجانبي الرئيسي	X	
	نسق التلون 4:2:0	X	
	عمق عيّنة بتات من 8 بتات	X	
	مواءمة التحويل 8 × 8 مقابل 4 × 4	X	
	مصفوفات تدريج التكمية	X	
	تحكم منفصل في معلمات تكمية C_B وC_R	X	
	تنسيق فيديو غير ملون	X	
	عمق عينتي بتات 9 و10 بتات	X	
	نسق التلون 4:2:2		
	عمق عينتي بتات من 11 و12 بتة		
	نسق التلون 4:4:4		
	تحويل اللون المتبقي		
	تشفير تنبؤي بلا خسارة		

عضو عائلة التوصية UIT-R BT. 709	المعلمات والأدوات الأساس الخاصة بالنظام MPEG-4/AVC		معدل البتّات لنقل شبه شفاف
1 920 × 1 080 × 60/50i	**السوية 4**		Mbit/s 15-10 – نوعية المساهمة
	أدوات التشفير	**عال 4:2:2**	Mbit/s 12-8 – نوعية التوزيع
	أدوات المظهر الجانبي الرئيسي	X	
	نسق التلون 4:2:0	X	
	عمق عيّنة بتات من 8 بتات	X	
	مواءمة التحويل 8 × 8 مقابل 4 × 4	X	
	مصفوفات تدريج التكمية	X	
	تحكم منفصل في معلمات تكمية C_B وC_R	X	
	تنسيق فيديو غير ملون	X	
	عمق عينتي بتات 9 و10 بتات	X	
	نسق التلون 4:2:2	X	
	عمق عينتي بتات من 11 و12 بتة		
	نسق التلون 4:4:4		
	تحويل اللون المتبقي		
	تشفير تنبؤي بلا خسارة		
1 920 × 1 080 × 60/50p	**السوية 4.2**		Mbit/s 20-18 – نسق البث
	أدوات التشفير	**عال 4:2:2**	**ملاحظة:** من الممكن ألا يزيد الاعتيان 10 بتات/عينة في معدل البتات اللازمة في الاعتيان 8 بتّات.
	أدوات المظهر الجانبي الرئيسي	X	
	نسق التلون 4:2:0	X	
	عمق عيّنة بتات من 8 بتات	X	
	مواءمة التحويل 8 × 8 مقابل 4 × 4	X	
	مصفوفات تدريج التكمية	X	
	تحكم منفصل في معلمات تكمية C_B وC_R	X	
	تنسيق فيديو غير ملون	X	
	عمق عينتي بتات 9 و10 بتات	X	
	نسق التلون 4:2:2	X	
	عمق عينتي بتات من 11 و12 بتة		
	نسق التلون 4:4:4		
	تحويل اللون المتبقي		
	تشفير تنبؤي بلا خسارة		

عضو عائلة التوصية UIT-R BT. 709	المعلمات والأدوات الأساس الخاصة بالنظام MPEG-4/AVC		معدل البتّات لنقل شبه شفاف
1 920 × 1 080 × 24/525p	**السوية 4**		Mbit/s 10-8 – أسلوب بث "الأفلام" عالي النوعية
	أدوات التشفير	**عال 4:2:2**	
	أدوات المظهر الجانبي الرئيسي	X	
	نسق التلون 4:2:0	X	
	عمق عيّنة من 8 بتات	X	
	مواءمة التحويل 8 × 8 مقابل 4 × 4	X	
	مصفوفات تدريج التكمية	X	
	تحكم منفصل في معلمات تكمية C_B وC_R	X	
	تنسيق فيديو غير ملون	X	
	عمق عينتي بتات 9 و10 بتات	X	
	نسق التلون 4:2:2	X	
	عمق عينتي بتات من 11 و12 بتة		
	نسق التلون 4:4:4		
	تحويل اللون المتبقي		
	تشفير تنبؤي بلا خسارة		

المرفق 1

معلومات بشأن طريقة تشفير المصدر MPEG-4/AVC

[سوليفان *وآخرون*، 2004]

تعتبر التوصية UIT-T H.264/MPEG-4 (الجزء 10) "تشفير فيديوي متطور" (التي تعرف باسم H.264/AVC) آخر توصية في سلسلة المعايير الدولية المتعلقة بالتشفير الفيديوي. وتمثل حالياً أنجح وأنجع معيار وضعه الفريق المشترك المعني بالفيديو الذي يضم فريق الخبراء المعني بتشفير الفيديو (VCEG) في قطاع تقييس الاتصالات ITU-T وفريق الخبراء المعني بالصور المتحركة (MPEG) في المنظمة الدولية للتوحيد/اللجنة الكهرتقنية الدولية (ISO/IEC).

وكما هو الشأن مع المعايير السابقة، تتيح هذه الصيغة أفضل توازن ممكن بين فعالية التشفير وطابع التنفيذ المعقد والتكاليف، بحكم الوضع الحالي لتقنيات تصميم أنظمة VLSI (وحدة المعالجة المركزية (CPU)، ومعالج الإشارات الرقمية (DSP)، ودارة متكاملة ذات تطبيقات خاصة (ASIC)، وشبكة سابقة البث مبرمجة (FPGA)، وما إلى ذلك).

ويسمح المعيار الموضوع على هذا النحو بتحقيق كسب في فعالية التشفير بعامل لا يقل (في المتوسط) عن نحو ضعفي المعيار MPEG-2 وبتكلفة معقولة.

وفي يوليو 2004، أضيف إلى هذا المعيار تعديل جديد، سمّي تمديدات مدى الدقة (FRExt التعديل 1) يتيح فعالية تشفير أكبر من فعالية المعيار MPEG-2، قد تبلغ ما لا يقل عن 3:1 بالنسبة لبعض التطبيقات الأساسية.

ورغم أن الصيغة الأولى للمعيار H.264/AVC (في صيغتها النهائية الصادرة في مايو 2003) تشمل عدداً كبيراً من التطبيقات، فقد ركزت بالدرجة الأولى على فيديو "الجمهور العريض"، على أساس اعتيان 8 بتات/عيّنة واعتيان التلون 4:2:0. ونظراً إلى القيود الزمنية لوضع هذا المعيار، لم يتسن له تلبية احتياجات التطبيقات المهنية الأكثر تطلباً وبالتالي لم يكن مكيّفاً مع

الاستبانات الفيديوية العالية جداً. وفيما يتعلق بتطبيقات مثل مساهمة البرنامج وتوزيع البرنامج والتجميع والترتيب في الاستوديو والمعالجة بعد الإنتاج، قد يكون من اللازم:

- استخدام أكثر من 8 بتات/عيّنة من أجل زيادة دقة المصدر الفيديوي.
- استخدام استبانة أعلى من تلك المستخدمة عموماً في تطبيقات الجمهور العريض (أي استخدام اعتيان 4:2:2 أو 4:4:4 بدلاً من نسق اعتيان التلون 4:2:0) فيما يتعلق بالتمثيل بالألوان.
- تطبيق وظائف التجميع والترتيب في المصدر، مثل عملية المزج آلفا (عملية مزج لقطات فيديوية متعددة لا سيما فيما يتعلق بالنشرات الجوية، إذ يمزج فيديو مقدم النشرة مع فيديو خارطة أو صورة لرادارات الأرصاد الجوية).
- استخدام معدلات بتات عالية جداً.
- استخدام استبانة عالية جداً.
- إتاحة دقة عالية جداً – حتى عند تمثيل بعض أجزاء الفيديو بلا خسارة.
- تفادي أخطاء التمليس عند تحويل الحيز اللوني.
- استخدام تمثيل بالألوان أحمر–أخضر–أزرق RGB.

انتهى مشروع "Frext" إلى سلسلة تتألف من أربع مظاهر جانبية جديدة أجمع على تسميتها المظاهر الجانبية العليا:

- يساند المظهر الجانبي العالي (HP) الفيديو ذا ثماني بتّات باعتيان عند 4:2:0، ويلبي احتياجات المستعملين لأجهزة من طراز عال، وتطبيقات أخرى تحتاج إلى فيديو ذي استبانة عالية، دون أن يستلزم الأمر استخدام أنساق تلوين ودقة اعتيان موسعة.
- ويساند المظهر الجانبي العالي (Hi 10P) الفيديو 4:2:0 في حدود عشر بتّات/عينة بالنسبة لدقة التمثيل.
- ويساند المظهر الجانبي العالي 4:2:2 (H422P) اعتيان التلوين 4:2:2 في حدود 10 بتات/عيّنة.
- ويسند المظهر الجانبي 4:4:4 (H444P) اعتيان التلوين 4:4:4 في حدود 12 بتة/عيّنة. وعلاوة على ذلك، يسمح هذا المظهر الجانبي بإجراء تشفير فعال بلا خسارة فضلاً عن تحويل كلي لإشارة اللون المتبقي فيما يتعلق بتشفير الفيديو RGB وتفادي أخطاء التحويل في الحيّز اللوني.

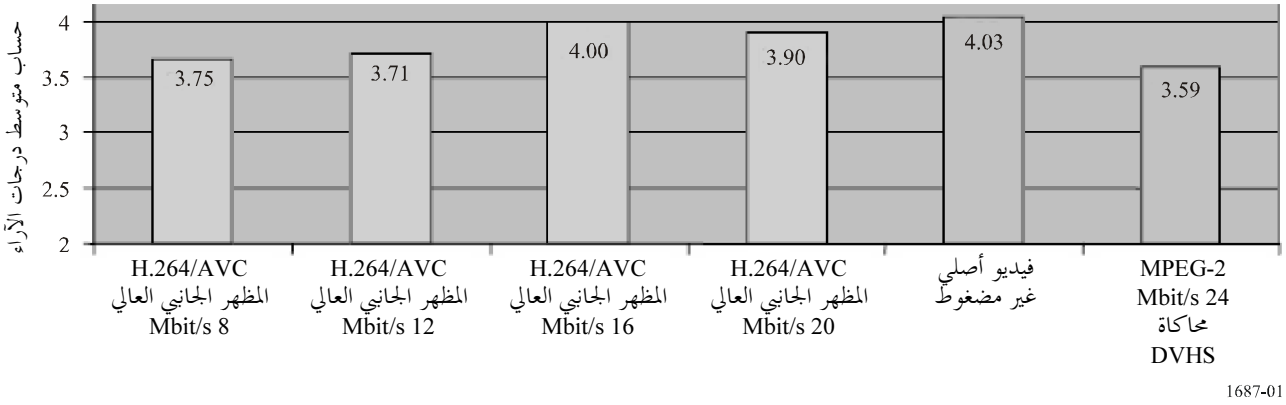
وبما أن مواصفة FREXt مازالت جديدة نسبياً، وأن بعض ميزاتها شخصية أكثر منها موضوعية، فإنه من الصعب نسبياً تقييم قدراتها. ومن المفيد، في هذا الخصوص، تقديم نتيجة التقييم الشخصي للنوعية الذي أجرته رابطة بلو راي ديسك Blu-ray Disc. واقتُبس ملخص النتائج الوارد أدناه في الشكل 1 من تقرير الاختبار المشار إليه كمرجع في الحاشية. وقد أسفرت الاختبارات التي أجريت على فيلم من 24 صورة/الثانية، بمسح تدريجي 080 1×920 1، عن النتائج الاسمية التالية (وهي نتائج لا يمكن اعتبارها من الجانب الإحصائي دقيقة تماماً):

- سمح المظهر الجانبي العالي لمواصفة FREXt بالحصول على نوعية فيديو أفضل نسبياً من المعيار MPEG-2 باستخدام لا يتعدى ثلث البتات (8 Mbit/s بدلاً من 24 Mbit/s)
- سمح المظهر الجانبي العالي لمواصفة FREXt بالحصول على نوعية فيديو شبه شفافة (بما يعني أنه من الصعب تمييزه عن الفيديو الأصلي الذي لم يضغط) باستخدام لا يتعدى 16 Mbit/s.

وقد تم تجاوز مستوى النوعية (3.0)، الذي يعدّ كافياً بالنسبة للأنظمة عالية الوضوح في هذه المنظمة، تجاوزاً كبيراً باستخدام لا يتعدى 8 Mbit/s. وهنا أيضاً، نلاحظ أن طريقة التشفير H.264/AVC المستخدمة في هذه الاختبارات لم تبلغ مستواها الأمثل. وبالتالي، سيكون ممكناً بالتأكيد تخفيض معدل البتات إلى حد كبير كي يصبح أقل من 8 Mbit/s، مع الاحتفاظ بسوية نوعية تفوق 3,0، مما يتيح نوعية جديرة بأن تسمى "نوعية ذات وضوح عال مقبول" بالنسبة لهذا التطبيق المتطلب.

الشكل 1

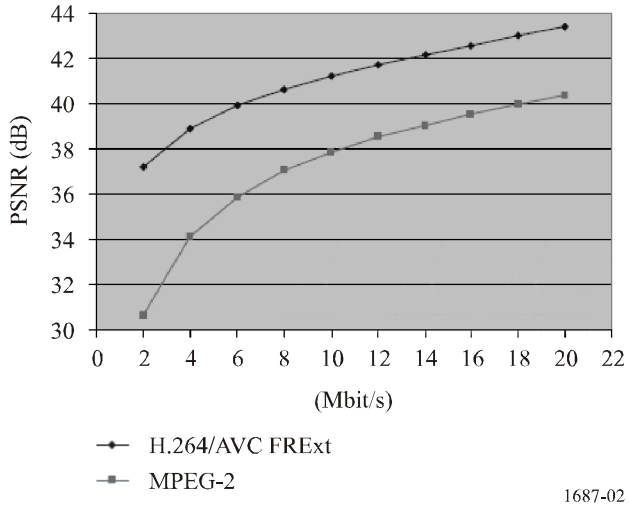
مقارنة بين المعيارين MPEG-2 وH.264



ترد في الشكل 2 نتيجة اختبار مقارنة موضوعية أجرته شركة فاست فدو FastVDO[5] بخصوص (القيم القصوى للعلاقة بين الإشارة والضوضاء). وتؤكد هذه النتائج الموضوعية النوعية الممتازة التي يتسم بها المظهر الجانبي العالي. (وفي هذا السياق أيضاً، تؤدي الاستخدامات غير المثلى للصور B إلى جعل النوعية الموضّحة في الرسم البياني دون المستوى الحقيقي فيما يتعلق بالنظام FREXt)

الشكل 2

مقارنة العلاقة بين الإشارة والضوضاء (القيم القصوى)



[5] فاست فدو (FastVDO) شركة متخصصة في التقنيات الخاصة بوسائط الاتصال وبرامجيات البنية التحتية، ويوجد مقرها في كولومبيا، ميريلاند، (الولايات المتحدة الأمريكية).

المراجع

SULLIVAN, G.J., TOPIWALA, P. and LUTHRA, A. [2004] The H.264/AVC Advanced Video Coding Standard: Overview and Introduction to the Fidelity Range Extensions. Presented at the SPIE Conference on Applications of Digital Image Processing XXVII. Special Session on Advances in the New Emerging Standard: H.264/AVC.

WEDI, T. and KASHIWAGI, Y. [2004] Subjective quality evaluation of H.264/AVC FRExt for HD movie content. Joint Video Team document JVT-L033.