

الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصية **ITU-R BS.1770-2**
(2011/03)

خوارزميات لقياس جهازة الصوت لبرنامج
سمعي وسوية سمع الذروة الحقيقية

السلسلة **BS**
الخدمة الإذاعية (الصوتية)

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 الملحق 1 بالقرار 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 <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 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، 2011

© ITU 2011

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 BS.1770-2*

خوارزميات لقياس جهارة الصوت لبرنامج سمعي وسوية سمع الذروة الحقيقية

(المسألة 2/6 ITU-R)

(2011-2007-2006)

مجال التطبيق

تحدد هذه التوصية خوارزميات قياس السمع لغرض تحديد جهارة صوت برنامج ذاتي، وسوية إشارة ذروة حقيقية.

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

- أ) أن تقنيات إرسال الصوت الرقمية الحديثة تقدم مدى دينامياً واسعاً إلى حد كبير؛
- ب) أن التقنيات الرقمية الحديثة لإنتاج وإرسال الصوت توفر مزيجاً من الأشكال الأحادية والمجسمة ومتعددة القنوات وأن برامج الصوت تُنتج بجميع هذه الأشكال؛
- ج) أن المستمعين يرغبون في أن تكون جهارة الصوت الذاتي للبرامج السمعية منتظماً بالنسبة لمصادر وأنواع برامج متباينة؛
- د) أن هناك طرائق عديدة لقياس سويات السمع غير أن طرائق القياس الحالية المستعملة في إنتاج البرامج لا توفر مؤشراً بشأن الارتفاع الذاتي للصوت؛
- هـ) أنه، لغرض التحكم في جهارة الصوت عند تبادل البرامج، من الضروري توفر خوارزمية وحيدة موصى بها للتقدير الموضوعي لجهارة الصوت الذاتية وذلك للحد من إزعاج المتلقين؛
- و) أن الخوارزميات المعقدة المستقبلية المستندة إلى نماذج صوتية نفسية قد توفر قياسات موضوعية محسنة لجهارة الصوت لأنواع متعددة من البرامج السمعية؛
- ز) أنه ينبغي تفادي الحمولة الزائدة المفاجئة للوسائط الرقمية، بل وينبغي حتى تفادي الحمولة الزائدة الخاطفة لهذه الوسائط،
- وإذ تضع في اعتبارها كذلك
- ح) أن مستويات إشارة الذروة قد تزداد بسبب العمليات المطبقة على نحو شائع مثل الترشيح أو خفض معدل البتات؛
- ط) أن تقنيات القياس الموجودة لا تعكس سوية الذروة الحقيقية داخل إشارة رقمية حيث إن قيمة الذروة الحقيقية قد تقع بين عينات؛
- ي) أن عملية معالجة الإشارة الرقمية تجعل من العملي تطبيق خوارزمية تقدر على نحو دقيق سوية الذروة الحقيقية لأية إشارة؛
- ك) أن استعمال خوارزمية تدل على الذروة الحقيقية سيتيح الحصول على مؤشر دقيق لجهارة السقف بين سوية ذروة إشارة سمعية رقمية وسوية التقليل،

* أدخلت لجنة الدراسات 6 لقطاع الاتصالات الراديوية تعديلات صياغية على هذه التوصية في مايو 2011.

توصي

- 1 بأنه ينبغي استعمال الخوارزمية المحددة في الملحق 1 عند الحاجة إلى قياس موضوعي لجهارة صوت قناة أو برنامج سمعي من أجل تسهيل تقديم البرامج وتبادلها؛
 - 2 بأن الطرائق المستعملة في إنتاج البرامج وما بعد الإنتاج للدلالة على جهارة صوت البرنامج يمكن أن تستند إلى الخوارزمية المحددة في الملحق 1؛
 - 3 بأنه عند الحاجة إلى مؤشر لسوية ذروة حقيقية لإشارة سمعية رقمية، ينبغي لطريقة القياس أن تستند إلى المبادئ التوجيهية الواردة في الملحق 2، أو إلى طريقة تفضي إلى نتائج مشابهة أو أفضل،
- الملاحظة 1 - ينبغي للمستعملين أن يدركوا أن جهارة الصوت المقاس هو تقدير لعلو الصوت الذاتي يشتمل على درجة ما من التناقض تبعاً للمستمعين والمواد السمعية وظروف الاستماع.

توصي كذلك

- 1 بأنه ينبغي القيام بعمل إضافي لتمديد الخوارزمية المحددة في الملحق 1 كي توفر مؤشراً لجهارة الصوت قصير المدى؛
- 2 بأنه ينبغي النظر في الحاجة المحتملة لتحديث هذه التوصية في حالة ظهور خوارزميات جهارة صوت جديدة توفر أداءً محسناً عما توفره الخوارزمية المحددة في الملحق 1.

الملحق 1

مواصفات خوارزمية لقياس موضوعي لجهارة الصوت متعدد القنوات

يتناول هذا الملحق خوارزمية لنمذجة قياس جهارة الصوت متعدد القنوات.

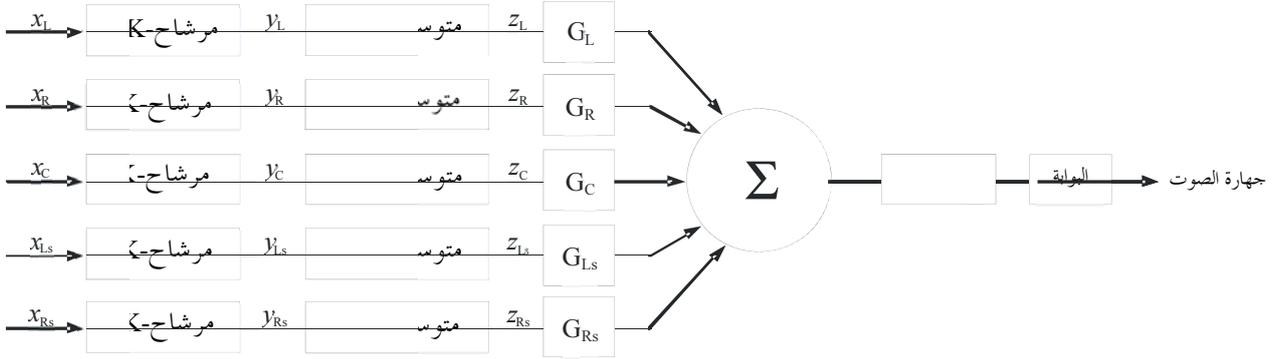
وتتألف الخوارزمية من أربع مراحل:

- توزيع الترددات "K"؛
- حساب متوسط الترييب لكل قناة؛
- جمع القنوات المرححة (لقنوات الإحاطة عوامل ترجيح أكبر، وتستبعد قناة تأثيرات التردد المنخفض (LFE))؛
- تمرير الفدرات 400 ms (تراكب 75%)، حيث تستعمل عتبتان:
- الأولى عند -70 LKFS؛
- الثانية عند -10 dB نسبة إلى المستوى المقاس بعد تطبيق العتبة الأولى.

ويبين الشكل 1 مخطط إجمالي للأجزاء المختلفة للخوارزمية. ووضعت إشارات التمييز عند نقاط مختلفة في مسير تدفق الإشارة للمساعدة في وصف الخوارزمية. ويبين المخطط الإجمالي مدخلات خمس قنوات رئيسية (يسار، وسط، يمين، محيط يسار، محيط يمين)، مما يسمح بمراقبة البرامج التي تحتوي من قناة واحدة إلى خمس قنوات. وقد لا تستخدم بعض المدخلات بالنسبة لبرنامج يحتوي على أقل من خمس قنوات. ولا يتضمن القياس قناة لتأثيرات التردد المنخفض (LFE).

الشكل 1

مخطط إجمالي لخوارزمية جهاز صوت متعدد القنوات

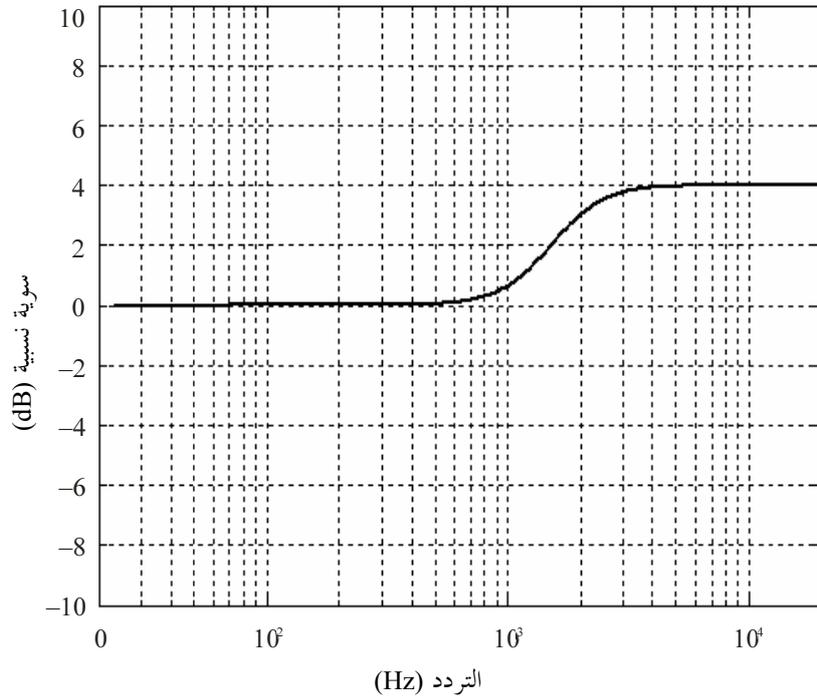


BS.1770-01

وتطبق الخطوة الأولى من الخوارزمية ترشيحاً أولياً¹ من مرحلتين على الإشارة والمستهدف من المرحلة الأولى من الترشيح الأولي هو التأثيرات الصوتية للرأس المغنطيسية حيث يتم نمذجة الرأس هنا باعتبارها كرة مصممة. ويعرض الشكل 2 النتيجة.

الشكل 2

استجابة المرحلة الأولى من المرشح الأولي المستعمل في تناول التأثيرات الصوتية للرأس المغنطيسية



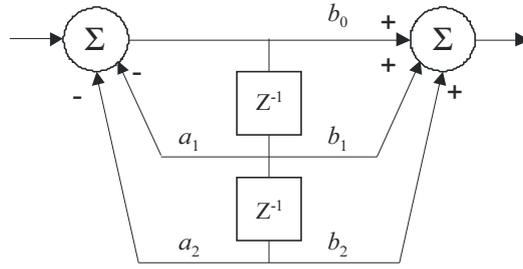
BS.1770-02

تحدد المرحلة الأولى من المرشح الأولي بواسطة المرشح الموضح في الشكل 3 بالمعاملات المحددة في الجدول 1.

¹ يتكون مرشح التوزين K من مرحلتين ترشيح؛ مرشح توزيعين مرحلة أولى ومرشح عالي التمرير مرحلة ثانية (منحنى ترجيح RLB).

الشكل 3

رسم بياني لتدفق الإشارة على اعتبار أنه مرشح من الدرجة الثانية



BS.1770-03

الجدول 1

معاملات مرشح المرحلة الأولى للمرشح الأولي لنمذجة رأس كروي

1,53512485958697	b_0		
2,69169618940638-	b_1	1,69065929318241-	a_1
1,19839281085285	b_2	0,73248077421585	a_2

وتخصص معاملات المرشح هذه لمعدّل عينات قدره 48 kHz. وستحتاج التطبيقات عند معدلات عينات أخرى إلى قيم معاملات مختلفة، حيث ينبغي انتقاؤها لتوفير نفس الاستجابة الترددية التي يوفرها المرشح المحدد عند المعدّل 48 kHz. وقد تتطلب قيم هذه المعاملات أن تُثبت كميتها طبقاً للدقة الداخلية للأجهزة المتوفرة. وأظهرت الاختبارات أن أداء الخوارزمية لا يتأثر من جرّاء التغيرات الصغيرة في هذه المعاملات.

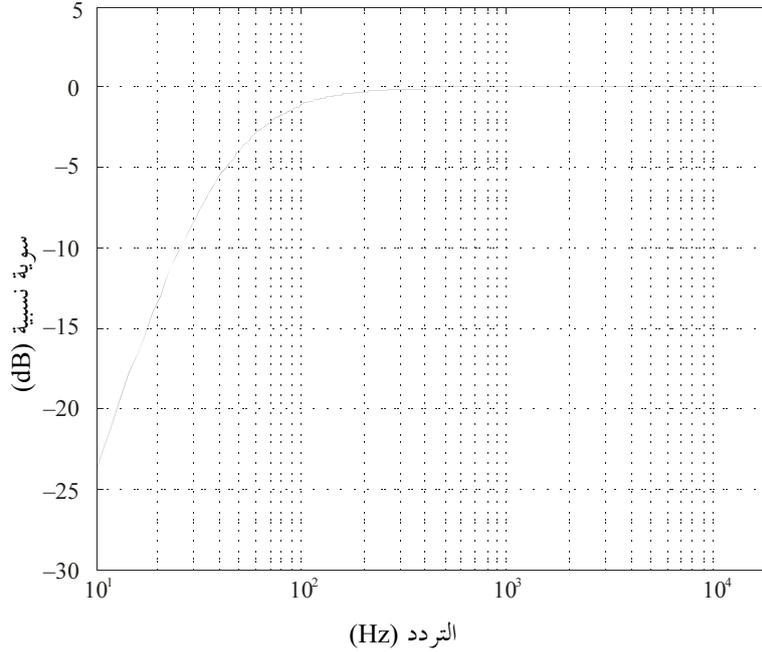
وتطبق المرحلة الثانية من المرشح الأولي منحني الترجيح RLB، الذي يتكوّن من مرشح بسيط لتميرير الترددات العالية كما موضح في الشكل 4.

حُدّد منحني الترجيح RLB بوصفه مرشحاً من الدرجة الثانية كما هو موضح بالشكل 3، بالمعاملات المحددة في الجدول 2.

وتخصص معاملات المرشح هذه لمعدّل عينات قدره 48 kHz. وستحتاج التطبيقات عند معدلات عينات أخرى إلى قيم معاملات مختلفة، حيث ينبغي انتقاؤها لتوفير نفس الاستجابة الترددية التي يوفرها المرشح المحدد عند المعدّل 48 kHz.

الشكل 4

منحني الترجيح RLB



BS.1770-04

الجدول 2

معاملات مرشاح لمنحني الترجيح RLB

1,0	$b0$		
2,0-	$b1$	1,99004745483398-	a_1
1,0	$b2$	0,99007225036621	a_2

يُقاس متوسط تربيع القدرة لإشارة الدخل بعد ترشيحها في فترة القياس T على النحو التالي:

$$(1) \quad z_i = \frac{1}{T} \int_0^T y_i^2 dt$$

حيث y_i تمثل إشارة المدخل المرحلة الثانية من المرشحة بواسطة المرشاح الأولي الموضحة أعلاه و $i \in I$ حيث $I = \{L, R, C\}$ ، مجموعة قنوات الدخل.

وتحدد جهارة الصوت خلال فترة القياس T كالتالي:

$$(2) \quad \text{Loudness, } L_K = -0.691 + 10 \log_{10} \sum_i G_i \cdot z_i \quad \text{LKFS}$$

حيث G_i عبارة عن معاملات ترجيح القنوات الفردية.

ولحساب قياس جهارة عابر، يقسم الفاصل T إلى مجموعة من الفواصل الزمنية لفترات التمرير المتراكبة. وفترة التمرير عبارة عن مجموعة من العينات الصوتية المتماصة ذات المدة $T_g = 400$ ms لأقرب عينة. ويجب أن يكون تراكب كل فترة تمرير 75% من مدة الفترة.

ويجب تقييد فاصل القياس بحيث ينتهي مع نهاية فترة التميرير. ولا تستعمل فترات التميرير غير المكتملة عند نهاية فاصل القياس. ويكون متوسط تربيع القدرة لفترة التميرير z لقناة الدخل i في فاصل القياس T كالتالي:

$$step = 1 - overlap \quad z_{ij} = \frac{1}{T_g} \int_{T_g \cdot j \cdot step}^{T_g \cdot (j \cdot step + 1)} y_i^2 dt$$

و

$$(3) \quad j \in \left\{ 0, 1, 2, \dots, \frac{T - T_g}{T_g \cdot step} \right\}$$

وتحدد جهارة فترة التميرير z كالتالي:

$$(4) \quad l_j = -0.691 + 10 \log_{10} \sum_i G_i \cdot z_{ij}$$

وبالنسبة لعتبة التميرير Γ ، توجد مجموعة أدلة لفترات التميرير $J_g = \{j : l_j > \Gamma\}$ تكون فيها جهارة فترة التميرير أكبر من عتبة التميرير. وعدد عناصر المجموعة $|J_g|$.
وتحدد جهارة فترة القياس العابرة كالتالي:

$$(5) \quad \text{Gated loudness, } L_{KG} = -0.691 + 10 \log_{10} \sum_i G_i \cdot \left(\frac{1}{|J_g|} \cdot \sum_{J_g} z_{ij} \right) LKFS$$

وتستعمل عملية من مرحلتين لإجراء قياس عابر، الأولى باستخدام عتبة مطلقة، والثانية باستخدام عتبة نسبية. وتحسب العتبة النسبية Γ_r بقياس جهارة الصوت باستعمال العتبة المطلقة $\Gamma_a = -70$ LKFS، ثم طرح 10 من الناتج، أي أن:

$$\Gamma_r = -0.691 + 10 \log_{10} \sum_i G_i \cdot \left(\frac{1}{|J_g|} \cdot \sum_{J_g} z_{ij} \right) - 10 \text{ LKFS}$$

حيث:

$$(6) \quad J_g = \{j : l_j > \Gamma_a\}$$

$$\Gamma_a = -70 \text{ LKFS}$$

ويمكن بعد ذلك حساب الجهارة العابرة باستعمال Γ_r كالتالي:

$$\text{Gated loudness, } L_{KG} = -0.691 + 10 \log_{10} \sum_i G_i \cdot \left(\frac{1}{|J_g|} \cdot \sum_{J_g} z_{ij} \right) LKFS$$

حيث:

$$(7) \quad J_g = \{j : l_j > \Gamma_r\}$$

يُعيّن ترجيح التردد بهذا القياس والمتولد بواسطة المرشاح المسبق (سلسلة من مرشاح المرحلة 1 لجزر التأثيرات الصوتية للرأس ومرشاح المرحلة 2، ترجيح RLB) كترجيح 'K' وينبغي أن تُلحق النتيجة الرقمية لقيمة جهازة الصوت المحسوبة في المعادلة (2) بالتعيين "LKFS". ويعني هذا التعيين "جهازة الصوت K المرشح بالنسبة لكامل المقياس الاسمي". ووحدة LKFS مكافئة لديسيبل بحيث تتسبب أي زيادة في سوية الإشارة قدرها 1 ديسيبل في زيادة قراءة جهازة الصوت بمقدار 1 LKFS.

إذا طُبقت موجة جيبية 0 dB FS 1 kHz في دخل القناة اليسرى أو المركزية أو اليمنى، فإن جهازة الصوت المبين سيساوي -3,01 LKFS.

ترد معاملات الترجيح لكل قناة في الجدول 3.

الجدول 3

معاملات ترجيح القنوات السمعية الفردية

الترجيح، G_i	القناة
1,0 (dB 0)	يسار (G_L)
1,0 (dB 0)	يمين (G_R)
1,0 (dB 0)	وسط (G_C)
1,41 (~ + 1,5 dB)	محيط اليسار (G_{Ls})
1,41 (~ + 1,5 dB)	محيط اليمين (G_{Rs})

تجدر الملاحظة أنه بينما أظهرت هذه الخوارزمية فاعلية عند استعمالها في برامج سمعية مخصصة للمحتوى الإذاعي على نحو نموذجي، لا تعد الخوارزمية بصورة عامة ملائمة للاستعمال لتقدير جهازة الصوت الذاتي للنگمات الصافية.

التذييل 1

للملحق 1

وصف وإعداد خوارزمية قياس متعدد القنوات

يصف التذييل خوارزمية وضعت حديثاً لقياس موضوعي لجهازة الصوت المدرك للإشارات السمعية. ومن الممكن استعمال الخوارزمية لإجراء قياس دقيق لإشارات أحادية ومجسمة ومتعددة القنوات. ويعد التبسيط واحداً من المزايا الرئيسية للخوارزمية المقترحة إذ يتيح تنفيذها بتكلفة منخفضة جداً. ويصف هذا التذييل أيضاً نتائج الاختبارات الذاتية المنهجية التي أجريت لتشكيل قاعدة بيانات ذاتية استعملت لتقييم أداء الخوارزمية.

1 مقدمة

هناك تطبيقات عديدة يكون فيها من الضروري إجراء القياس والتحكم بجهازة الصوت المدرك للإشارات السمعية. وتشمل الأمثلة على هذه التطبيقات البث الراديوي والتلفزيوني حيث تتغير طبيعة ومحتوى المواد السمعية على نحو متكرر. وبمقدور المحتوى السمعي لهذه التطبيقات أن يتحول على نحو متواصل بين الموسيقى والكلام والتأثيرات الصوتية أو ثمة مزيج من هذه الأشكال. ومن شأن مثل هذه التغييرات في محتوى مواد البرنامج أن تفضي إلى تغييرات مهمة في جهازة الصوت الذاتي.

كما أن أشكالاً عديدة من معالجة الديناميات تطبق على نحو متكرر على الإشارات مما قد ينتج عنه تأثير ملحوظ على جهازة الصوت المدرك للإشارة. وبطبيعة الحال، تكتسب مسألة جهازة الصوت الذاتي أيضاً أهمية كبيرة بالنسبة للصناعة الموسيقية حيث تستعمل معالجة الديناميات على نحو شائع للحصول على الحد الأقصى لجهازة الصوت المدرك للتسجيل.

لقد بذلت خلال السنوات الأخيرة جهود متواصلة داخل فرقة العمل 6P التابعة لقطاع الاتصالات الراديوية لتحديد طريقة موضوعية لقياس جهازة الصوت المدرك لمادة برنامج نموذجي لتطبيقات إذاعية. وقد أنصبت المرحلة الأولى من جهود قطاع الاتصالات الراديوية على دراسة خوارزميات موضوعية لجهازة صوت أحادي على نحو حصري، وقياس متوسط التريبع المرجح، $Leq(RLB)$ ، وبرهنت على أنهما توفر أفضل أداء للإشارات أحادية الصوت [Soulodre، 2004].

من المسلم به إلى حد بعيد، أن جهازاً لقياس جهازة الصوت يمكن تشغيله على الإشارات الأحادية والمجسمة ومتعددة القنوات ضروري لتطبيقات الإذاعية. وتعرض الوثيقة الحالية خوارزمية قياس جديدة لجهازة الصوت يمكن أن تعمل على نحو ناجح في الإشارات السمعية الأحادية والمجسمة ومتعددة القنوات. وتستند الخوارزمية المعروضة إلى تمديد مباشر لخوارزمية $Leq(RLB)$. وبالإضافة إلى ما تقدم تمتلك الخوارزمية المتعددة القنوات الجديدة التعقيد الحسابي المنخفض جداً للخوارزمية أحادية الصوت $Leq(RLB)$.

2 معلومات أساسية

وُضعت في المرحلة الأولى من دراسة قطاع الاتصالات الراديوية طريقة اختبار ذاتية لدراسة مفهوم جهازة الصوت لمواد برنامج أحادي الصوت نموذجي [Soulodre، 2004]. وأجريت تجارب ذاتية في خمسة مواقع في العالم لوضع قاعدة بيانات ذاتية لتقييم أداء خوارزميات قياس جهازة صوت المحتملة. كما جرت مواءمة جهازة صوت لسلاسل سمعية أحادية الصوت مختلفة مع سلسلة مرجعية. وتم الحصول على السلاسل السمعية من مواد إذاعية فعلية (تلفزيون وراديو).

وبالاقتران مع هذه الاختبارات، قُدم ما مجموعه عشر خوارزميات/أجهزة قياس لجهازة الصوت أحادية الصوت معدة تجارياً من قبل سبع جهات مختلفة بغرض تقييمها في مختبر الإدراك السمعي التابع لمركز بحوث الاتصالات في كندا.

وبالإضافة إلى ما تقدم، فقد ساهم Soulodre بخوارزمتين أساسيتين إضافيتين لجهازة الصوت لاستخدامهما كخط أساس للأداء. [Soulodre، 2004] ويكون هذان القياسان الموضوعيان من دالة ترجيح ترددي بسيطة، يعقبها وحدة قياس متوسط التريبع. ويستعمل واحد من جهازي القياس، $Leq(RLB)$ ، منحني ترجيح لتمرير الترددات العالية يشار إليه بوصفه المنحني-B المعدل للترددات المنخفضة (RLB).

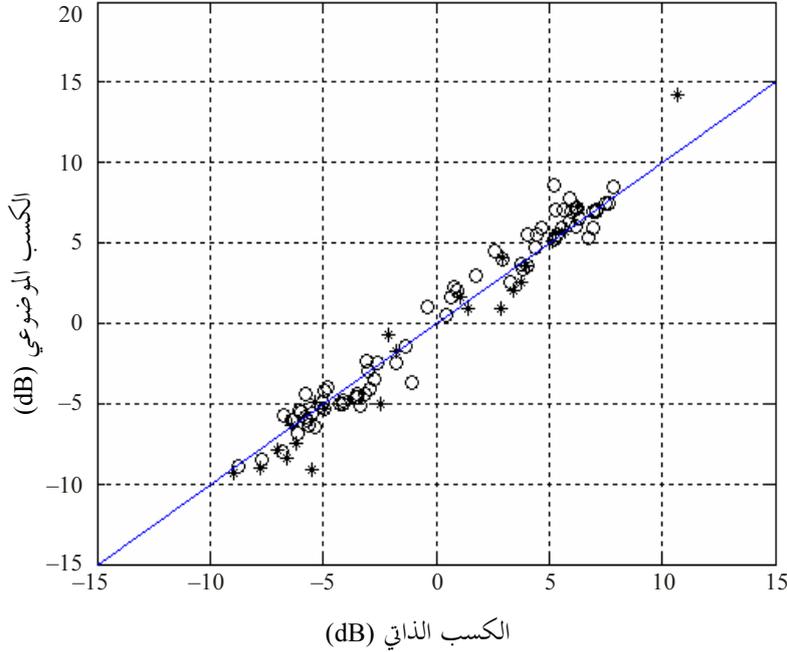
أما القياس الآخر، Leq ، فهو ببساطة بمثابة قياس غير مرجح لمتوسط التريبع.

ويظهر الشكل 5 نتائج دراسة قطاع الاتصالات الراديوية الأولية لجهاز قياس جهازة صوت $Leq(RLB)$. ويشير المحور الأفقي إلى جهازة الصوت الذاتي ذي الصلة المشتق من قاعدة البيانات الذاتية، بينما يشير المحور الرأسي إلى جهازة الصوت المتوقع لجهاز قياس $Leq(RLB)$. وتمثل كل نقطة في الرسم البياني نتيجة لواحدة من سلاسل الاختبار الصوتية في الاختبار. أما الدوائر المفتوحة فهي تمثل سلاسل صوتية كلامية، بينما تمثل النجوم سلاسل صوتية غير كلامية. ومن الممكن ملاحظة أن نقاط البيانات متجمعة على نحو متقارب حول القطر. بما يشير إلى الأداء الممتاز لجهاز القياس $Leq(RLB)$.

كما اتضح أن جهاز $Leq(RLB)$ يوفر الأداء الأفضل مقارنة بجميع أجهزة القياس التي جرى تقييمها (على الرغم من أنه، في إطار الأهمية الإحصائية، كان أداء بعض أجهزة القياس الصوتية النفسية بالمستوى ذاته). ووجد أن أداء جهاز قياس Leq بنفس كفاءة جهاز قياس (RLB) تقريباً. وتدل هذه النتائج على أنه إذا تعلق الأمر بمادة إذاعية أحادية الصوت نموذجية، فإن جهاز قياس بسيط لجهازة الصوت مستند إلى الطاقة يعد بالمثل فعالاً مقارنة بوسائل قياس أكثر تعقيداً قد تتضمن نماذج إدراكية مفصلة.

الشكل 5

جهاز قياس جهارة الصوت Leq (RLB) أحادي الصوت
مقابل النتائج الذاتية ($r = 0,982$)



BS.1770-05

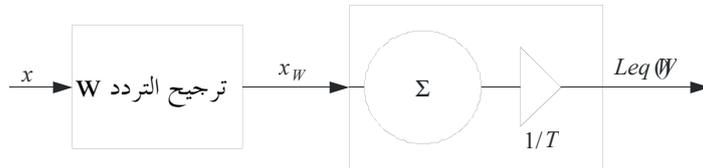
3 تصميم خوارزمية Leq (RLB)

صُممت خوارزمية جهارة الصوت Leq (RLB) على نحو محدد بحيث تكون سهلة جداً. ويظهر الشكل 6 مخططاً إجمالياً للخوارزمية المذكورة أعلاه. ويتكون المخطط من مرشح لتمرير الترددات العالية يعقبه وسيلة لتوسيط الطاقة مع الوقت. ويذهب خرج المرشح إلى وحدة معالجة تجمع الطاقة وتحسب المتوسط خلال الوقت.

والغرض من المرشح هو توفير بعض الترجيح نسبة إلى الإدراك الحسي للمحتوى الطيفي للإشارة. ومن مزايا استعمال هذا الهيكل الأساسي لقياسات جهارة الصوت أنه يمكن إجراء المعالجة بأكملها بواسطة وحدات زمنية بسيطة بمتطلبات حسابية منخفضة جداً.

الشكل 6

مخطط إجمالي لقياسات جهارة صوت بسيطة مستندة إلى الطاقة



BS.1770-06

وتعد خوارزمية Leq (RLB) الموضحة في الشكل 6 مجرد نسخة تردد مرجح لقياس سوية صوت مكافئة (Leq). وتعرف سوية Leq على النحو التالي:

$$(3) \quad Leq(W) = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{T} \int_0^T \frac{x_W^2}{x_{Ref}^2} dt \right] \quad \text{dB}$$

حيث:

x_W : الإشارة عند خرج مرشاح التريج

x_{Ref} : بعض السويات المرجعية

T : طول السلسلة السمعية.

و يمثل الرمز W في سوية $Leq(W)$ تريج التردد، وهو في هذه الحالة المنحني المعدل-B للترددات المنخفضة (RLB).

4 اختبارات ذاتية

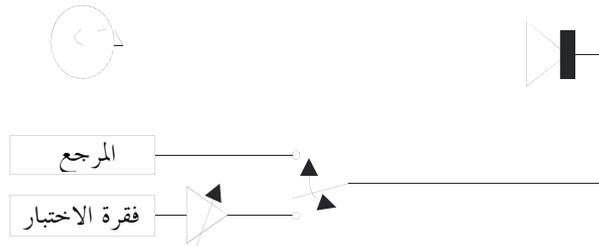
لتقييم أدوات قياس جهازة صوت متعدد القنوات، كان من الضروري إجراء اختبارات ذاتية منهجية لإنشاء قاعدة بيانات ذاتية. ومن الممكن حينئذ تقييم خوارزميات قياس جهازة الصوت المحتملة في مجال قدرتها على توقع نتائج الاختبارات الذاتية. وقد وفرت قاعدة البيانات تقديرات جهازة صوت مُدرّكة لأنواع متعددة من مواد برامج أحادية ومجسمة ومتعددة القنوات. وكانت مواد البرامج المستعملة في الاختبارات قد أخذت من برامج تلفزيونية ورايوية فعلية أذيعت في أرجاء متعددة من العالم، فضلاً عن تلك البرامج المأخوذة من الأقراص المدججة (CD) ومن الأقراص الفيديوية الرقمية (DVD). وتضمنت السلاسل مسرحيات موسيقية وتلفزيونية وسينمائية وأحداث رياضية ونشرات إخبارية ومؤثرات صوتية وإعلانات. كما تضمنت السلاسل مقاطع صوتية بلغات متعددة.

1.4 إعداد الاختبار الذاتي

تتكون الاختبارات الذاتية من عملية موازنة لجهازة الصوت. وقام المعينون بالاستماع إلى نطاق واسع من مواد برامج نموذجية وقاموا بضبط سوية كل فقرة من فقرات الاختبار حتى تطابق جهازة الصوت المُدرّك مع الإشارة المرجعية (انظر الشكل 7). وكانت الإشارة المرجعية قد استنسخت على الأغلب عند سوية قدرها 60 dBA، وهي السوية التي وجد (بنيامين) أنها سوية الاستماع النموذجية لمشاهدة التلفزيون في البيوت العادية [Benjamin، 2004].

الشكل 7

منهجية اختبار ذاتية

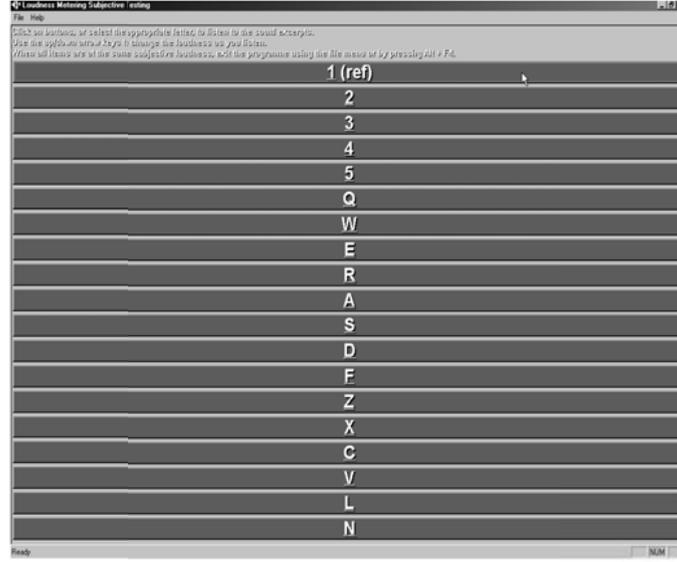


BS.1770-07

مكّن نظام اختبار ذاتي متعدد القنوات مستند إلى برمجيات أعدتها وأسهمت بها هيئة الإذاعة الاسترالية، المستمعين من التحول لخطياً رواجاً ومجياً بين فقرات الاختبار مع ضبط السوية (جهازة الصوت) لكل فقرة. وترد في الشكل 8 لقطة من شاشة برمجيات الاختبار. ومن الممكن ضبط مستوى فقرات الاختبار في خطوات قيمة 0,25 dB. كما يمكن إدخال الإشارة المرجعية عبر الضغط على الزر المؤشر عليه بالرقم "1"، مع ملاحظة أن مستوى الإشارة المرجعية ظل ثابتاً.

الشكل 8

السطح البيئي للمستعمل لنظام اختبار ذاتي



BS.1770-08

باستعمال لوحة مفاتيح الحاسوب، انتقي المعينون فقرة اختبار محددة وضبطوا سويتها حتى تواءم جهازها صوتها مع الإشارة المرجعية. وبمقدور المعينين الانتقال لحظياً بين أي من فقرات الاختبار عبر اختيار المفتاح المناسب. ويتم تشغيل السلاسل على نحو متواصل (عروة مغلقة) خلال الاختبارات وقد سجلت البرمجية إعدادات الكسب الخاصة بكل فقرة من فقرات الاختبار على النحو المحدد من جانب المعينين. ومن ثم، فقد أنتجت الاختبارات الذاتية مجموعة من قيم الكسب (بالديسيبل) اللازمة لمواءمة جهازها الصوت لكل سلسلة من سلاسل الاختبار مع السلسلة المرجعية. وقد سمح ذلك بتحديد جهازها الصوت النسبي لكل فقرة من فقرات الاختبار على نحو مباشر.

وقبل إجراء الاختبارات الصماء المنهجية، خضع كل من المعينين لدورة تدريبية تعرفوا خلالها على برمجيات الاختبار ومهامهم في التجربة. وبما أن العديد من فقرات الاختبار احتوت على مزيج من الكلام وأصوات أخرى (مثل الموسيقى والضوضاء الخلفية، إلخ)، تم توجيه المعينين على نحو محدد لمواءمة جهازها صوت الإشارة الإجمالية، وليس مجرد محتوى الإشارات من الكلام.

وقدمت فقرات الاختبار لكل مادة، خلال الاختبارات الصماء المنهجية، عبر ترتيب عشوائي. وعليه لم يقدم لاثنين من المعينين فقرات الاختبار بترتيب واحد. وقد أتبع هذا المنهج للقضاء على أي تحيز محتمل نتيجة لتأثيرات الترتيب.

2.4 قاعدة البيانات الذاتية

تكونت قاعدة البيانات الذاتية المستعملة في تقييم أداء الخوارزمية المعروضة فعلياً من ثلاث مجموعات بيانات منفصلة. وأنشئت مجموعات البيانات المذكورة من ثلاثة اختبارات ذاتية مستقلة أجريت خلال فترة امتدت لبضع سنوات.

وتكونت مجموعة البيانات الأولى من نتائج دراسة قطاع الاتصالات الراديوية الأصلية حيث قام المعينون بمواءمة جهازها الصوت المدرك لحوالي 96 سلسلة سمعية أحادية الصوت. وبالنسبة لهذه المجموعة من البيانات، أُجريت الاختبارات الذاتية في خمسة مواقع منفصلة في العالم كفل بأدائها 97 مستمعاً. وقام فريق مؤلف من ثلاثة أشخاص أعضاء في فرقة العمل 6P SRG3 التابعة لقطاع الاتصالات الراديوية بانتقاء سلاسل الاختبار بالإضافة إلى الفقرة المرجعية. وتكونت الإشارة المرجعية في هذه التجربة من كلام لأنثى باللغة الإنكليزية. وتكرر تشغيل السلاسل عبر مكبر صوت منفرد وضع أمام المستمع مباشرة.

ودفع بعض مؤيدي الخوارزمية، عقب الدراسة أحادية الصوت لقطاع الاتصالات الراديوية الأصلية، بأن مدى ونمط الإشارات المستعملة في الاختبارات الذاتية لم تكن واسعة بما فيه الكفاية. ودفَعوا أيضاً بأنه لهذا السبب فإن خوارزمية $Leq(RLB)$ البسيطة المستندة إلى الطاقة تفوق في الأداء جميع الخوارزميات الأخرى.

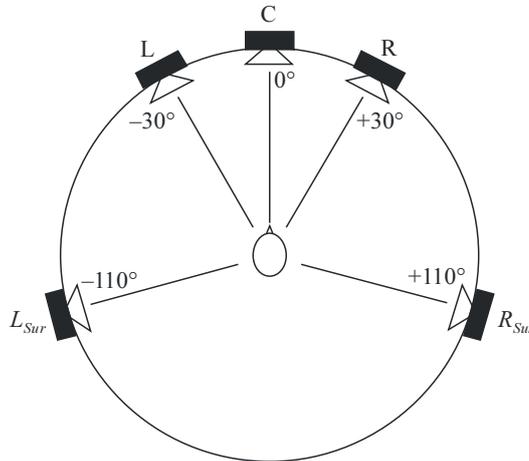
ولمعالجة هذه المشاغل، طُلب من مؤيدي هذه الخوارزمية تقديم سلاسل سمعية جديدة لإجراء جولة أخرى من الاختبارات الذاتية. كما شُجِعوا على الإسهام بسلاسل أحادية الصوت يرون أنها ستكون أكثر تحدياً لخوارزمية $Leq(RLB)$. ولم يسهم في تقديم سلاسل جديدة سوى اثنين من مؤيدي جهاز القياس.

وباستعمال هذه السلاسل الجديدة، أُجريت تجارب ذاتية منهجية في مختبر الإدراك السمعي لمركز بحوث الاتصالات في كندا. وقدم ما مجموعه 20 معياراً معدّلات جهارة صوت لـ 96 سلسلة أحادية الصوت. واستعملت الاختبارات المنهجية ذاتها المستعملة في وضع مجموعة البيانات الأولى، كما استعملت الإشارة المرجعية ذاتها. وشكلت نتائج هذه الاختبارات مجموعة البيانات الثانية لقاعدة البيانات الذاتية.

أما مجموعة البيانات الثالثة لمعدّلات جهارة الصوت فقد تكونت من 144 سلسلة سمعية. وتكونت سلاسل الاختبار من 48 فقرة أحادية الصوت و48 فقرة مجسمة و48 فقرة متعددة القنوات. وبالإضافة إلى ذلك، أُعيد تشغيل نصف الفقرات أحادية الصوت عبر القناة المركزية (أحادية)، بينما أُعيد تشغيل النصف الآخر من الفقرات أحادية الصوت من خلال مكبرات الصوت اليسرى واليمينى (ثنائي أحادي). وأُجري التشغيل المذكور للتعرف على الطريقتين المختلفتين اللتين يمكن بواسطتهما الاستماع إلى إشارة أحادية الصوت. وتكونت الإشارة المرجعية، لهذا الاختبار، من كلام لأنثى باللغة الإنكليزية في أجواء مجسمة وخلفية موسيقية منخفضة السوية. وشارك في هذا الاختبار 20 معياراً حيث أُستعمل تشكيل مكبرات صوت معين حُدّد في التوصية ITU-R BS. 775، وتم تمثيله في الشكل 9.

الشكل 9

تشكيل مكبرات صوت أُستعمل لمجموعة البيانات الثالثة



BS.1770-09

وكانت مجموعتا البيانات الأوليان قد اقتصرتا على سلاسل اختبار أحادية الصوت وعليه لم يكن التصوير عاملاً داخلياً في الاختبارات. واعتبر التصوير في مجموعة البيانات الثالثة، التي تضمنت سلاسل متعددة القنوات ومجسمة، عاملاً مهماً استدعى الدراسة. وتولد انطباع مفاده أنه قد يكون للتصوير والأجواء المحيطة داخل السلسلة السمعية تأثير كبير على جهارة الصوت المدرك للسلسلة. وعليه، تم اختيار سلاسل متعددة القنوات ومجسمة كي تشمل على مدى واسع من أساليب التصوير (مثل تدوير فوتوغرافي مركزي مقابل تصوير ثابت يسار/يمين، ومصادر أمامية مقابل مصادر محيطة من جميع الجهات) وأنواع مختلفة من الأجواء المحيطة (مثل جو جاف مقابل جو صاحب).

وكانت حقيقة أن يقوم المعنيون بمواءمة جهارة الصوت للإشارات الأحادية، والثنائية الأحادية، والمجسمة، ومتعددة القنوات بشكل متزامن تعني أن هذا الاختبار كان أكثر صعوبة أساساً من مجموعات البيانات السابقة التي اقتصر على الإشارات الأحادية. وقد زادت هذه الصعوبة من جراء أساليب التصوير المتعددة والأنواع المختلفة من الأجواء المحيطة. وكان هناك بعض الانشغال من أنه نتيجة، لهذه العوامل، قد تكون المهمة أكبر من إمكانيات المعنيين إلا أنه لحسن الحظ أظهرت الاختبارات الأولية أن المهمة قد تم إنجازها وأن المعنيين العشرين كانوا قادرين على تقديم نتائج متوافقة.

5 تصميم خوارزمية جهارة صوت متعدد القناة

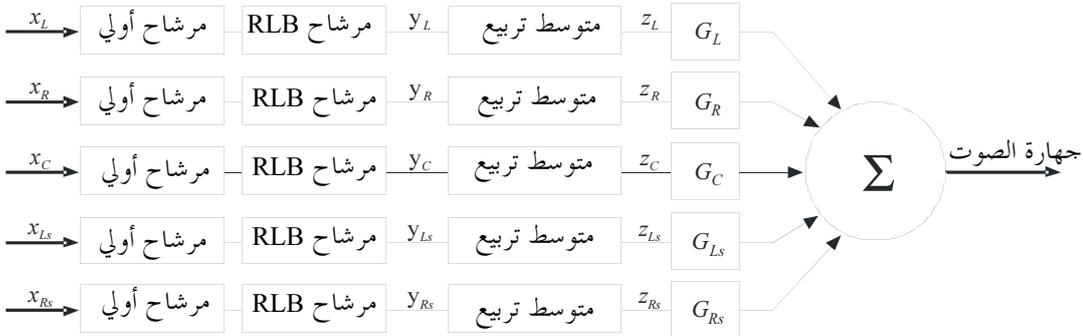
وكما ذكر آنفاً، صممت خوارزمية $Leq(RLB)$ لتعمل على الإشارات أحادية الصوت، وأظهرت دراسة سابقة أنها على درجة عالية من النجاح في هذا المجال. غير أن تصميم خوارزمية جهارة صوت لإشارة متعددة القنوات يفرض تحديات إضافية عديدة. ومن بين المتطلبات الرئيسية للحصول على خوارزمية متعددة القنوات ناجحة أنها ينبغي أن تكون صالحة كذلك للإشارات الأحادية والثنائية الأحادية والمجسمة. ومن الممكن القول إنه ينبغي النظر إلى هذه الصيغ بوصفها حالات خاصة لإشارة متعددة القنوات (وإن كانت حالات شائعة على حد كبير).

وقد افترضنا في الدراسة الحالية أن الإشارات متعددة القنوات تتوافق مع التشكيل القياسي للقناة 5.1 الوارد في التوصية ITU-R BS.775. ولم تبدل جهود باتجاه حساب قناة ترددات LFE.

وتقاس جهارة الصوت، في جهاز قياس جهارة صوت متعدد القنوات، لكل من القنوات السمعية الفردية على نحو مستقل بخوارزمية $Leq(RLB)$ أحادية الصوت كما هو موضح في الشكل 10. بيد أنه، يُطبق ترشيح أولي على كل قناة قبل وحدة القياس $Leq(RLB)$.

الشكل 10

مخطط إجمالي لجهاز مقترح لقياس جهارة صوت متعدد القنوات



BS.1770-10

ويكمن الغرض من وراء المرشاح الأولي في القيام بحساب التأثيرات الصوتية للرأس على الإشارات الواردة. وتم نمذجة الرأس هنا بوصفه كرة مصمتة. ويُطبق المرشاح الأولي ذاته على كل قناة. ويتم توسيط قيم جهارة الصوت (G_i) الناتجة حينئذ وفقاً لزاوية ورود الإشارة، ثم تُجمع بعد ذلك (في حيز خطي) كي يعطي قياس مركب لجهارة الصوت. ويُستعمل التوسيط لمراعاة حقيقة أن الأصوات التي تصل من خلف المستمع يمكن أن تُدرك بوصفها أعلى من الأصوات الواردة من أمام المستمع.

وتُعد البساطة فائدة رئيسية لخوارزمية جهارة الصوت متعددة القنوات المقترحة. وتتكون الخوارزمية المذكورة من وحدات معالجة إشارة أساسية على نحو كامل يتيسر تنفيذها في حيز الوقت بأدوات غير مكلفة. كما تعد قابلية الخوارزمية للتطوير فائدة رئيسية أخرى لها. وبما أن المعالجة التي تُجرى على كل قناة متطابقة، فمن الممكن استعمال جهاز قياس على نحو مباشر يكون قادراً على استيعاب أي عدد من القنوات من 1 إلى N . وبالإضافة إلى ما تقدم، وبما أن مساهمات القنوات الفردية تجمع

بصفتها قيم جهارة صوت، وليس سوية الإشارة، لا تستند الخوارزمية إلى طور قناة بينية أو ارتباط. وهذا يجعل جهاز قياس جهارة الصوت المقترح أكثر عمومية وأكثر فعالية.

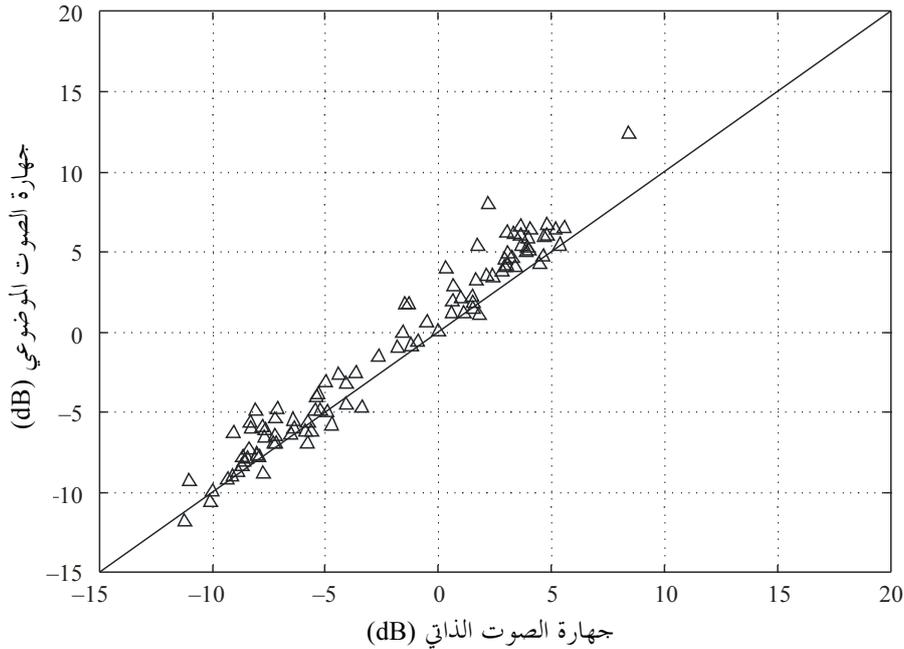
6 تقييم خوارزمية متعددة القناة

تمت معالجة السلاسل الصوتية البالغ عددها 336 المستعملة في مجموعة البيانات الثلاثة من خلال الخوارزمية متعددة القنوات المقترحة وتم تسجيل معدلات جهارة الصوت المتوقعة. ونتيجة لهذه المعالجة، من الممكن تقييم الأداء الإجمالي للخوارزمية استناداً إلى الاتفاق بين المعدلات المتوقعة والمعدلات الذاتية الفعلية التي يتم الحصول عليها في الاختبارات الذاتية المنهجية.

ترسم الأشكال 11 و12 و13 مخططاً لأداء جهاز قياس جهارة الصوت المقترح لمجموعات البيانات الثلاثة. ويوفر المحور الأفقي في كل من الأشكال الثلاثة جهارة الصوت الذاتي لكل سلسلة سمعية في مجموعة البيانات. أما المحور الرأسي فيشير إلى جهارة الصوت الموضوعي المتوقع من جهاز قياس جهارة الصوت المقترح. وتمثل كل نقطة في الرسم البياني نتيجة سلسلة سمعية منفردة. كما تجدر الملاحظة أن خوارزمية موضوعية مثالية سيتمخض عنها وقوع جميع نقاط البيانات على قطر ميله 1 وبمر بنقطة الأصل (كما هو موضح في الأشكال المذكورة).

الشكل 11

نتائج مجموعة البيانات (أحادية الصوت) الأولى ($r = 0,979$)



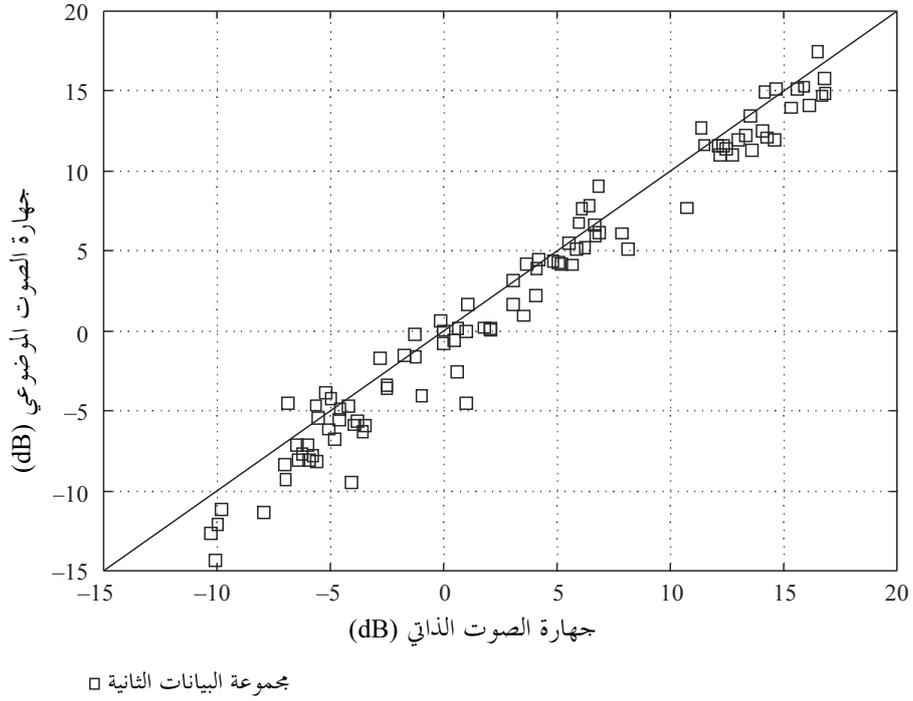
مجموعة البيانات الأولى Δ

BS.1770-11

ويبدو واضحاً من الشكل 11 أن خوارزمية جهارة الصوت متعددة القنوات المقترحة تؤدي وظيفتها على نحو جيد قدر تعلق الأمر بتنبؤ النتائج من مجموعة البيانات (أحادية الصوت) الأولى. ويبلغ الارتباط بين معدلات جهارة الصوت الذاتي قياس جهارة الصوت الموضوعي $r = 0,979$.

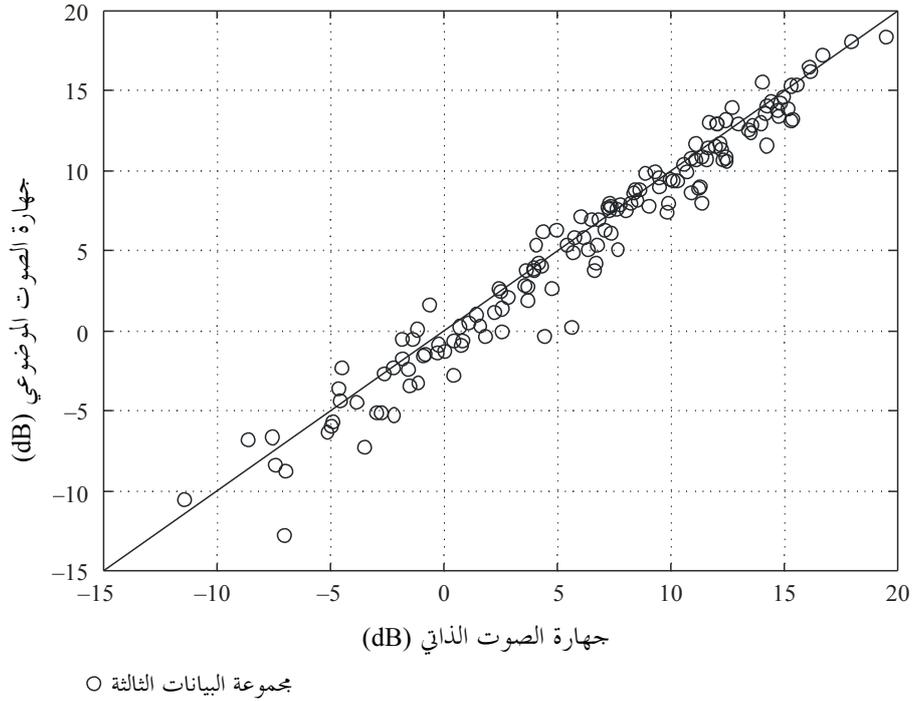
وكما يظهر في الشكل 12، فإن الارتباط بين معدلات جهارة الصوت الذاتي وقياس جهارة الصوت الموضوعي لمجموعة البيانات الثانية جيد جداً أيضاً $r = 0,985$. ومن الملفت ملاحظة أن نحو نصف السلاسل في مجموعة البيانات هذه كانت عبارة عن موسيقى.

الشكل 12

نتائج مجموعة البيانات (أحادية الصوت) الثانية ($r = 0,985$)

BS.1770-12

الشكل 13

نتائج مجموعة البيانات (أحادية ومجسمة الصوت ومتعددة القنوات) الثالثة ($r = 0,980$)

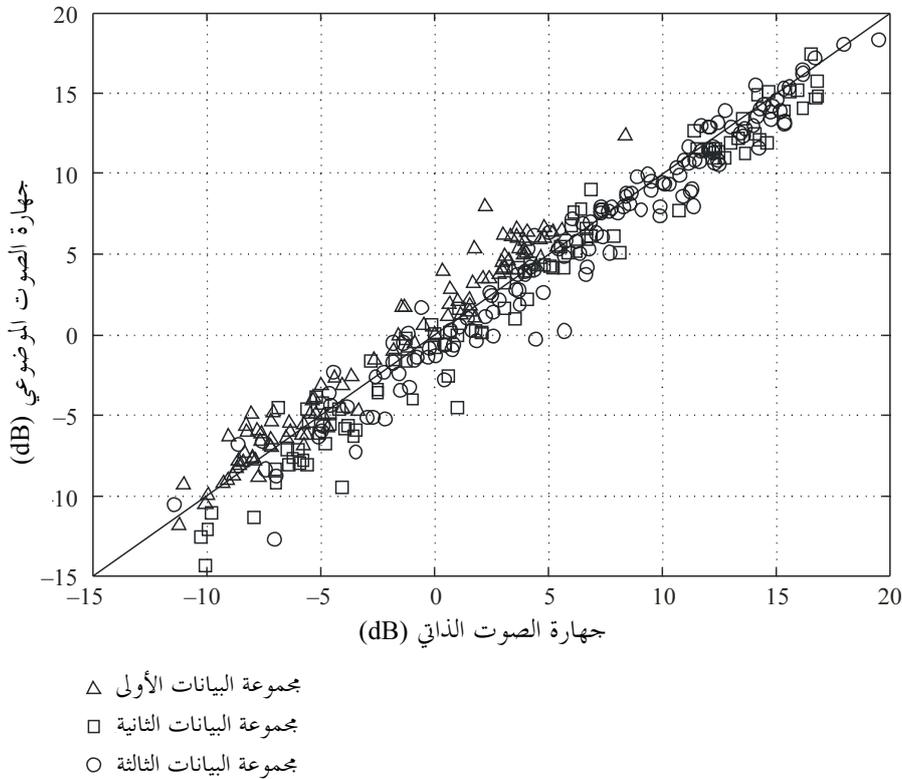
BS.1770-13

يبين الشكل 13 نتائج مجموعة البيانات الثالثة، التي تتضمن إشارات أحادية وثنائية أحادية ومجسمة ومتعددة القنوات. كما تعد النتائج متعددة القنوات الواردة في الشكلين 13 و 14 خاصة بالخوارزمية المحددة، لكن بتحديد قيم ترجيح القناة المحيطة بنحو 4 dB (القيمة المقترحة أصلاً) بدلاً من 1,5 dB (بموجب المواصفات النهائية). كما تم التحقق من أن تغيير القيمة من 4,0 dB إلى 1,5 dB ليس له تأثيراً يذكر على النتائج. ومرة أخرى يتضح أن أداء الخوارزمية جيد جداً بارتباط قدره $r = 0,980$.

ومن المفيد دراسة أداء الخوارزمية لجميع السلاسل السمعية البالغ عددها 336 التي تتكون منها قاعدة البيانات الذاتية. ومن ثم، فإن الشكل 14 يجمع بين النتائج المتحصلة من مجموعات البيانات الثلاث. كما يمكن ملاحظة أن الأداء جيداً جداً عبر قاعدة البيانات الذاتية بالكامل بارتباط إجمالي قدره $r = 0,977$.

الشكل 14

النتائج المجمعة لجميع مجموعات البيانات الثلاث ($r = 0,977$)



BS.1770-14

وتشير نتائج هذا التقييم إلى أداء مثالي لخوارزمية قياس جهازة الصوت متعدد القنوات المستند إلى قياس جهازة الصوت $Leq(RLB)$ عبر السلاسل البالغ عددها 336 لقاعدة البيانات الذاتية. وقد وفرت قاعدة البيانات الذاتية مدى واسعاً من مواد برنامج بما في ذلك الموسيقى والمسرحيات التلفزيونية والمسرحيات السينمائية والأحداث الرياضية والنشرات الإخبارية والمؤثرات الصوتية والإعلانات التجارية. كما تضمنت السلاسل مقاطع كلامية بلغات أجنبية متعددة. وبالإضافة إلى ما تقدم، تبرهن النتائج على أن جهاز قياس جهازة الصوت المقترح يعمل على نحو مثالي على الإشارات الأحادية والثنائية الأحادية والمجسمة فضلاً عن الإشارات متعددة القنوات.

المراجع

- BENJAMIN, E. [October, 2004] Preferred Listening Levels and Acceptance Windows for Dialog Reproduction in the Domestic Environment, 117th Convention of the Audio Engineering Society, San Francisco, Preprint 6233.
- SOULODRE, G.A. [May, 2004] Evaluation of Objective Loudness Meters, 116th Convention of the Audio Engineering Society, Berlin, Preprint 6161.

الملحق 2

مبادئ توجيهية للقياس الدقيق لسوية "الذروة الحقيقية"

يصف هذا الملحق خوارزمية لتقدير سوية الذروة الحقيقية داخل إشارة سمعية رقمية ذات تشكيل شفرة نبضية (PCM) خطي لقناة منفردة. وتفترض المناقشة الواردة في هذا الملحق معدل عينة مقداره 48 kHz. كما تُعد سوية الذروة الحقيقية بمثابة القيمة القصوى (سلبية كانت أم إيجابية) لشكل موجة الإشارة في حيز الوقت المستمر؛ وقد تكون هذه القيمة أعلى من قيمة العينة الأكبر في حيز عينة الوقت المختبرة 48 kHz. وتوفر الخوارزمية تقديراً للإشارة كما هي، وتقديراً اختيارياً، لما ستكون عليه في حالة قيام تجهيزات تالية معينة بإزالة مكون التيار المستمر (DC) من الإشارة. وبوسع التشديد المسبق عالي التردد المعتدل الاختياري في مسير إشارة قياس الذروة تمكين الخوارزمية من تقديم سوية ذروة أعلى لإشارات عالية التردد خلافاً للواقع. ويكمن الغرض من هذا في أن زحزحات الطور لمراحل لاحقة لمعالجة الإشارة (مثل مرشحات Nyquist) قد يتسبب في زيادة في ذروات الإشارة عالية التردد، وقد تكون هذه الخاصية مفيدة في بعض التطبيقات من حيث إنها توفر حماية مضافة من تقطيع الإشارات المعالجة.

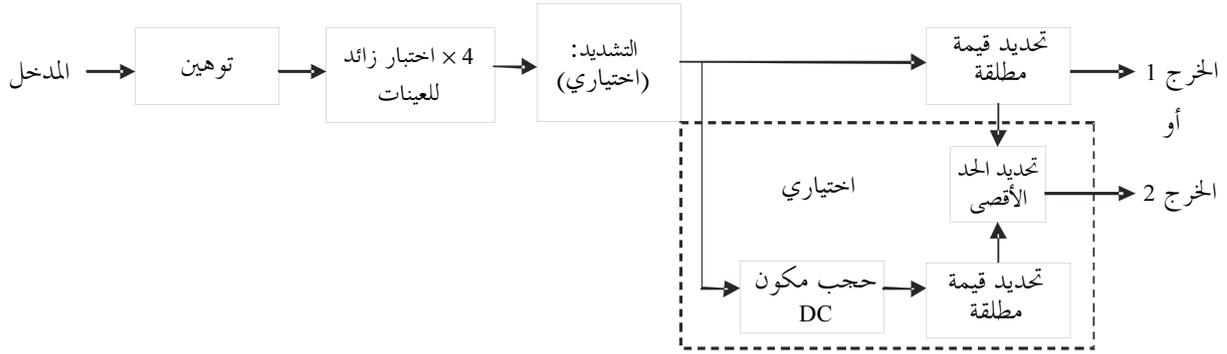
1 ملخص

الآتي بعد مراحل المعالجة:

- (1) توهين: توهين 12,04 dB
- (2) $4 \times$ اختبار العينات الزائد
- (3) التشديد: مرشح انحدار التشديد المسبق، صفر عند 14,1 kHz والقطب عند 20 kHz (اختياري)
- (4) حجب لمكون DC (اختياري)
- (5) تحديد مطلق: قيمة مطلقة
- (6) تحديد الحد الأقصى: الكشف عن القيمة الأعلى (اختياري، تتواجد في حال وجود وحدة حجب لمكون DC)

يتيح الكشف عن القيمة المطلقة قبل وبعد استخدام وحدة حجب مكون DC تقدير سوية ذروة الإشارة عند نقطة القياس اللحظية، بالإضافة إلى تقدير سوية الذروة في حالة إزالة تجهيزة داخلية معينة لمكون DC للإشارة.

2 مخطط إجمالي



BS.1770-15

3 وصف مفصل

تتكون الخطوة الأولى من فرض توهين قدره 12,04 dB (زحزحة 2-بته). ويتمثل الغرض من هذه الخطوة في تهيئة جهازة مناسبة لمعالجة الإشارة اللاحقة باستعمال حساب العدد الصحيح. ولا تعد هذه الخطوة ضرورية في حالة إجراء الحسابات في فاصلة كسرية طليقة.

ويزيد مرشاح اختيار العينات الزائد $4 \times$ معدل اختيار عينات الإشارة من 48 kHz إلى 192 kHz. وتشير هذه القيمة الأعلى لمعدل العينة على نحو أدق إلى شكل الموجة الفعلي الممثل داخل الإشارة. وتعد معدلات اختيار العينات الأعلى ومعدل اختيار العينات الزائد مفضلة (انظر التذييل 1 من هذا الملحق). وتتطلب الإشارات الواردة التي تكون عند معدلات اختيار عينات أعلى معدل اختيار عينات زائد أقل نسبياً (مثال، تُعد قيمة $2 \times$ اختيار عينات زائد مناسبة لإشارة واردة عند معدل عينة 96 kHz).

ومن شأن مرشاح زحزحة التشديد المسبق الاختياري أن يتيح للخوارزمية إبراز سوية ذروة أعلى لعناصر الإشارة الأعلى تردداً. ومن الممكن القيام بذلك بعيداً عن اعتبار أنه من الصعوبة بمكان القياس والتحكم بقيم الذروة لعناصر الإشارة الأعلى تردداً نتيجة لتأثيرات تشتت (زحزحة الطور) التي تحدث في مرشحات Nyquist العديدة التي تنشأ على نحو متكرر خلال حلقة إشارة إذاعية.

ويوفر مرشاح حجب مكون DC الاختياري تغطية للحالة حيث تكون الإشارة غير متناظرة إلى حد كبير، أو تحتوي على قدر من التخالف في DC. وإلى جانب ما تقدم، فإن قياس قيمة ذروة الإشارة اللحظية (بما في ذلك غير المتناظر و/أو تخالف DC)، مع ضم هذا الجزء الاختياري من شأنه تيسير قياس الإشارة كما لو كان على إحدى تجهيزات التدفق الهابط أن تقوم بمهام مرشاح حجب مكون DC.

وتؤخذ القيمة المطلقة للعينات من خلال عكس العينات ذات القيمة السالبة؛ وتكون الإشارة في هذه المرحلة أحادية القطب، مع الاستعاضة عن القيم السالبة بقيم موجبة بالمقدار ذاته. ويكون الخرج 1 بمثابة المقدار الغالب لقيم الخرج في حالة عدم تنفيذ عملية الحجب الاختيارية لمكون DC.

وفي حالة تنفيذ عملية حجب مكون DC الاختيارية، تختار وحدة "MAX" العينة الأكبر من كل عينة من مسيري الإشارة؛ ويؤخذ الخرج في هذه الحالة من الخرج 2.

ويمكن لفدرات النظام التالية (غير مبينة أو محددة في هذه الوثيقة) أن تقارن قيم عينات الخرج بسوية 100% من إشارة الذروة الاسمية (1/4 التدرج الكلي في حال تطبيق توهين قدره 12 dB عند الدخل)، بحيث تعطي تقديراً لسوية الذروة الحقيقية بالنسبة لتدرج رقمي كامل.

يتعين على العدادات التي تتبع هذه المبادئ التوجيهية وتستعمل معدل اختيار عينة مفرط في اختيار العينة قدره 192 kHz على الأقل، أن تبين النتيجة بوحدات "dB TP". ويدل هذا التعيين على ديسيبلات بالنسبة لقياس 100% ذروة حقيقية لكامل المقياس.

التذييل 1²

للملحق 2

اعتبارات خاصة لقياس دقيق لذروة الإشارة السمعية الرقمية

ما المشكلة؟

غالباً ما تسجل أجهزة قياس الذروة في الأنظمة السمعية الرقمية "عينة ذروة" وليس "ذروة حقيقية".

وتعمل عادة أجهزة قياس عينة الذروة من خلال مقارنة القيمة المطلقة (المقومة) لكل عينة وارداً بالقراءة الحالية لجهاز القياس؛ وإذا ما كانت العينة الجديدة أكبر فإنها تحل محل موضع القراءة الحالية؛ إذا لم تكن أكبر فإن قراءة التيار الحالية يتم ضربها في مقدار ثابت أقل بقليل من الوحدة لكي تؤدي إلى تضائل لوغاريتمي. وتعد أجهزة القياس هذه واسعة الانتشار لأنها سهلة الاستعمال، لكنها لا تسجل عادة قيمة الذروة الحقيقية للإشارة السمعية.

وهكذا فقد يؤدي استعمال جهاز قياس عينة ذروة، حينما يكون القياس الدقيق لذروات البرامج ضرورياً، إلى مشاكل. ولسوء الحظ، تعتبر معظم أجهزة قياس الذروة الرقمية بمثابة أجهزة قياس عينة ذروة، رغم أن هذا الأمر لا يبدو واضحاً للمشغل عادة.

وتحدث المشكلة بسبب حدوث قيم الذروة الفعلية لإشارة عينة مختارة بين العينات عادة وليس لكونها عند لحظة اختيار العينات على وجه الدقة، وعليه لا تُسجل على نحو دقيق بجهاز عينة الذروة.

وتفضي هذه الحالة إلى عيوب شائعة عديدة في جهاز قياس عينة الذروة:

- **قراءات ذروة متضاربة:** يُلاحظ دائماً أن تشغيل تسجيل متماثل على نحو مكرر في نظام رقمي بجهاز قياس عينة ذروة يؤدي إلى قراءات مختلفة تماماً لذروات البرنامج عند كل تشغيل. وينطبق ذلك على حالة تشغيل تسجيل رقمي على نحو مكرر خلال محوّل معدل عينة قبل إجراء القياس، إذ ستكون الذروات المسجلة مختلفة أيضاً في كل تشغيل. ويرجع السبب في ذلك إلى إمكانية وقوع لحظات العينات على أجزاء مختلفة من الإشارة الحقيقية في كل تشغيل.
- **أحمال زائدة غير متوقعة:** بما أن إشارات العينة المختارة قد تحتوي على أحمال زائدة حتى عندما لا تكون بحوزتها عينات عند حدود، أو حتى قريبة من حدود، المقياس الكامل الرقمي، فإنه لا يعوّل على مؤشر زيادة الحمل لجهاز قياس عينة الذروة. وقد تتسبب الأحمال الزائدة في حدوث تقليم في العمليات اللاحقة، مثل التقليم الذي يمكن أن يحدث في محولات D/A على نحو خاص أو أثناء تغيير معدل عينة، حتى وإن لم يتم تسجيلها من قبل بجهاز قياس عينة الذروة (وحتى إن لم تكن مسموعة عند رصدها عند تلك النقطة).
- **قصور القراءة وخفقان النغمات المقاسة:** قد يحدث قصور في قراءة النغمات الصافية (مثل نغمات الضبط) القريبة من عوامل العدد الصحيح لترددات أخذ العينات أو تؤدي إلى قراءة مختلفة على نحو ثابت إذا كان اتساع النغمة ثابتاً.

² **الملاحظة 1** - يأتي هذا النص الغني بالمعلومات كمساهمة من الفريق العامل المعني بمعايير مجتمع الهندسة السمعية SC-02-01 من خلال مقرر فرقة العمل التابعة لقطاع الاتصالات الراديوية 6J المعنية بقياس جهارة الصوت.

ما مدى خطورة المشكلة؟

من الممكن القول على نحو عام أنه كلما كان تردد عينة الذروة للإشارة المقاسة أعلى، كلما كانت إمكانية الخطأ أكبر. وبخصوص النغمات الصافية المستمرة، من السهولة بمكان البرهنة، على سبيل المثال، أن هناك قصوراً في القراءة بمقدار 3 dB لنغمة مزحزحة طورياً بشكل غير مناسب عند ربع تردد اختيار العينة. ومن الممكن أن يكون قصور القراءة لنغمة عند منتصف تردد اختيار العينات غير منته على نحو تقريبي؛ ومع ذلك، لا تحتوي أغلب الإشارات السمعية الرقمية على قدر مهم من الطاقة عند هذا التردد (لأنه يتم استبعادها بشكل كبير بمرشحات ضد الإدخال الخطأ عند نقطة التحويل D/A ولأن الأصوات "الحقيقية" لا تسودها عادة ترددات عالية مستمرة).

ولا تحدث النبضات المستمرة غير القريبة من عوامل الإعداد الصحيحة المنخفضة لترددات أخذ العينة قصوراً في القراءة على أجهزة قياس عينة الذروة لأن ترددات النبضة (الفرق بين $n.f_{tone}$ و f_s) تعد عالية مقارنة بمقلوب معدل تضاؤل جهاز القياس. وبتعبير آخر، تعد لحظة أخذ العينات قريبة بما فيه الكفاية من الذروة الحقيقية للنغمة في أغلب الأحيان بما يكفل عدم قصور القراءة.

ومع ذلك، فبالنسبة للنغمات الفردية العابرة، لا يتم إخفاء حالات القصور في القراءات بواسطة هذه الآلية، وعليه فكلما كان محتوى ترددات النبضات العابرة الفردية عالياً، كلما تكون إمكانية حدوث القصور في القراءة أعلى. ويعد من الطبيعي في الصوت "الحقيقي" للنبضات العابرة أن تحدث بمحتوى ترددات عالية إلى حد بعيد، ومن الممكن حدوث قصور في القراءة لهذه النبضات على نحو طبيعي بمقدار عدة وحدات من dB.

وبما أن للأصوات الحقيقية، على وجه العموم، طيفاً يتلاشى باتجاه الترددات العالية، ولأن هذا الأمر لا يتغير مع زيادة ترددات اختيار العينة، يكون القصور في القراءة جهاز قياس عينة الذروة أقل حدة عند ترددات اختيار العينة الأصلية الأعلى.

ما الحل؟

من أجل قياس قيمة الذروة الحقيقية لإشارة عينة مختارة، من الضروري مضاعفة اختيار عينات (أو زيادة معدل اختيار عينات) الإشارة، أي إعادة تكوين الإشارة الأصلية على نحو جوهري، بين العينات الموجودة ويؤدي ذلك بدوره إلى زيادة تردد اختيار عينات الإشارة. ويبدو هذا المقترح مريباً: فكيف يتسنى لنا إعادة تكوين المعلومات التي تبدو أنها بالفعل فقدت؟ والحقيقة، تُظهر نظرية اختيار العينات أن بمقدورنا فعل ذلك لأننا نعلم أن الإشارة المختارة لا تحتوي على ترددات تزيد عن نصف تردد اختيار العينات الأصلي.

ما معدل زيادة اختيار العينات الضروري؟ لمعرفة الرد نحتاج إلى الإجابة على سؤالين:

- ما الحد الأقصى المقبول لخطأ قصور القراءة؟

- ما معدل أعلى تردد يتم قياسه لتردد اختيار العينات (الحد الأقصى "للتردد المقيس")؟

إذا عرفنا هذه المعايير، سيتيسر حساب معدل زيادة اختيار العينات الذي نحتاجه (حتى من دون دراسة تفاصيل تطبيق عملية زيادة اختيار العينات) من خلال طريقة "ورقة-مخطط" مباشرة. وبمقدورنا ببساطة دراسة ما سيتمخض عنه قصور في القراءة من زوج من العينات بمعدل اختيار عينات زائد يحدث على نحو متماثل على جانبي ذروة منحني جيبى عند التردد المقيس الأقصى. وهذا يمثل "أسوأ حالة" قصور في القراءة.

وعليه: فعند معدل اختيار عينات زائد، n

وعندما يكون التردد المقيس الأقصى، f_{norm}

وعند تردد اختيار العينات، f_s

ويمكننا رؤية أن:

فترة اختيار العينات عند معدل اختيار العينات الزائد تبلغ $1/n.f_s$

فترة التردد المقيس الأقصى تبلغ $1/f_{norm}.f_s$

وعليه:

يبلغ حد قصور القراءة الأقصى (dB) $20.\log(\cos(2.\pi.f_{norm}.f_s/n.f_s.2))$

(وقد وضع الرقم 2 في المقام حيث من الممكن أن نفقد ذروة مجد أقصى يبلغ نصف فترة اختيار العينات الزائد)

أو:

قصور القراءة القصوى (بوحدة dB) $20.\log(\cos(\pi.f_{norm}/n)) =$

واستعملت هذه المعادلة في إعداد الجدول التالي، الذي يمكن أن يغطي المدى المطلوب.

الحد الأقصى لقصور القراءة (dB) $f_{norm} = 0,5$	الحد الأقصى لقصور القراءة (dB) $f_{norm} = 0,45$	معدل اختيار العينات الزائد
0,688	0,554	4
0,169	0,136	8
0,108	0,087	10
0,075	0,060	12
0,055	0,044	14
0,042	0,034	16
0,010	0,008	32

كيف ينبغي استعمال جهاز قياس ذروة حقيقية؟

تُجرى عملية اختيار العينات الزائد عبر إدخال عينات ذات قيمة صفرية بين العينات الأصلية لغرض توليد تيار بيانات عند معدل اختيار العينات الزائدة المرغوب به، وبعد ذلك يستخدم مرشاح "استكمال" لتمير الترددات المنخفضة لاستبعاد الترددات الأكبر من قيمة f_{norm} القصوى المرغوبة. وإذا ما قمنا الآن بتشغيل خوارزمية عينة الذروة على إشارة العينة المختارة، يكون لدينا جهاز قياس ذروة حقيقية بقصور القراءة القصوى المرغوب بها.

ويعد النظر في تنفيذ جهاز اختيار عينات زائدة كهذا أمراً ملفتاً. وجرت العادة على تنفيذ مرشاح تمرير الترددات المنخفضة هذا بوصفه استجابة نبضة محدودة (FIR) متناظرة. وحيث يستعمل مثل هذه المرشحات في تمرير إشارات سمعية بجودة عالية، مثلما يحدث في (الطراز القديم) من محولات D/A لاختيار العينات الزائد أو في محولات معدل اختيار العينات، فإنه من الضروري حساب عدد كبير من "التفريعات" بغرض الحفاظ على تمويجة نطاق تمرير منخفض جداً، وتحقيق الحد الأقصى من نطاق إيقاف التوهين ونطاق انتقال ضيق. كما ينبغي الحفاظ على طول كلمة طويل للإبقاء على مدى دينامي فضلاً عن تدنية التشويه.

ومع ذلك، بما أننا لن نستمتع إلى خرج جهاز اختيار العينات الزائد، بل سيستخدم فقط لعرض قراءة أو إعداد رسم بياني خطي، قد لا يكون علينا تحقيق متطلبات الدقة ذاتها. وطالما كانت تمويجة نطاق التمرير، مضافاً إليها مكونات عرضية من نطاق الإيقاف، لا تحط من دقة القراءة بدرجة أكبر من المستهدف، فسيكون ذلك مرضياً لنا. ومن شأن ذلك أن يقلل من العدد المطلوب من التفريعات على نحو كبير، رغم أننا قد نبقي بحاجة إلى تحقيق نطاق انتقال ضيق تبعاً لهدفنا ذي الصلة بالتردد المقيس الأقصى. وعلى الصعيد نفسه، قد لا يتطلب طول الكلمة سوى أن يكون كافياً لضمان الدقة المستهدفة في الجزء السفلي الرسم البياني الخطي، إلا إذا استدعى الأمر الحصول على خرج رقمي دقيق بالنسبة للتساعات المنخفضة.

واستناداً إلى ما تقدم، قد يتيسر تنفيذ جهاز اختيار عينات زائدة مناسب (ربما لقنوات عديدة) في إطار معالج إشارة رقمية (DSP) أو (FPGA) منخفضة الكلفة، أو ربما إجراء العملية بواسطة معالجات أكثر تواضعاً. ومن ناحية أخرى، تم تنفيذ أجهزة قياس اختيار العينات الزائد باستعمال رقائق زيادة اختيار العينات عالية الدقة مخصصة لاستعمال محول D/A . وبينما تعد هذه الطريقة هدراً للسليكون والقدرة، بيد أن هذه الأجهزة قليلة التكلفة ومتوفرة في السوق بسهولة.

وتعد أبسط طريقة لتحديد العدد المطلوب من التفرعات ومعاملات التفرع لمواصفات جهاز قياس محدد هو استعمال برنامج تصميم مرشاح FIR التكراري مثل Remez أو Meteor.

وقد يتطلب أيضاً في حالة جهاز قياس الذروة استبعاد تأثير أي تيار مستمر داخل، حيث تعد أجهزة القياس السمعية مانعة لتيار DC على نحو تقليدي. ومن جهة أخرى، إذا كنا مهتمين بقيمة إشارة الذروة الحقيقية لأغراض القضاء على الحمولة الزائدة، عندها ينبغي الحفاظ على محتوى تيار DC وقياسه. وإذا ما تطلب الأمر، من الممكن إجراء استبعاد تيار DC بقدرة حساب منخفضة من خلال ضم مرشاح تمرير عالٍ (IIR) من النظام المنخفض الرتبة عند مدخل جهاز القياس.

ويتطلب في بعض الأحيان قياس اتساع إشارة الذروة بعد استعمال أحد أنماط مرشحات الترجيح بغية التأكيد على تأثيرات أجزاء محددة من نطاق التردد. ويعتمد التنفيذ على طبيعة مرشاح الترجيح المحدد.