جَامعة
المَنارة
MANARA UNIVERSITY

وسائط متعددة
المحاضرة التاسعة

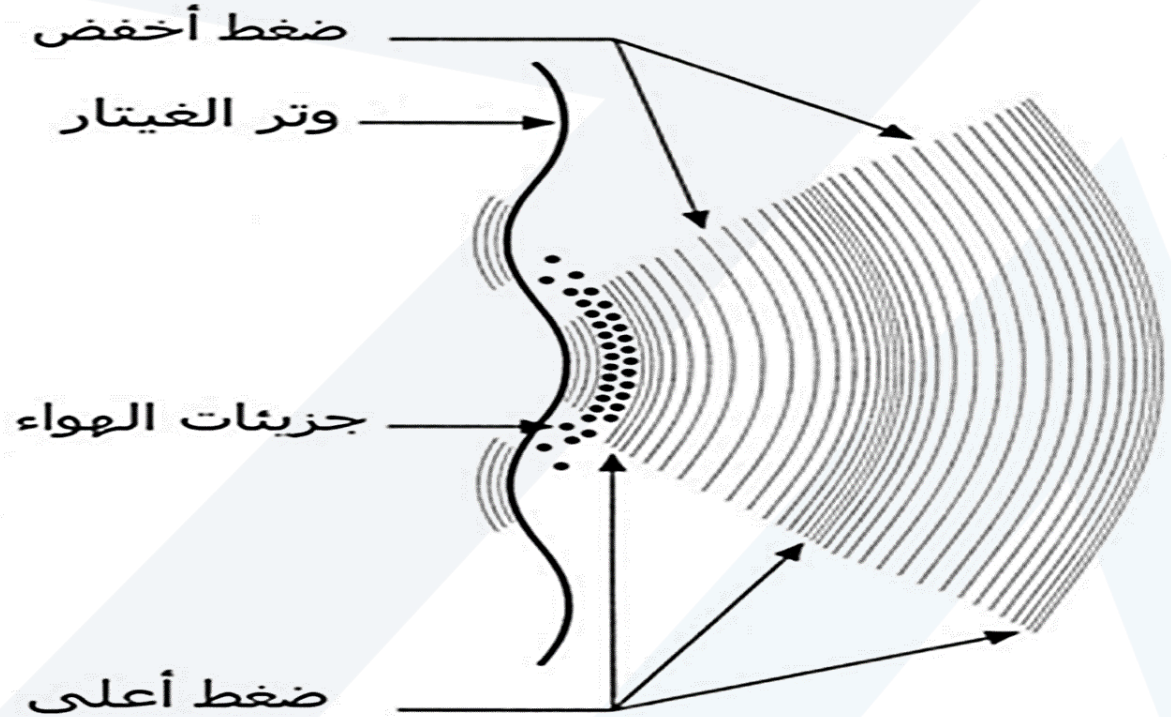
أ.د. فادي غصنه

الصوت

الصوت: عبارة عن اضطراب (تغير) فيزيائي في الوسط (medium) حيث يمكن نقل هذا الاضطراب (التغير) على شكل موجة وذلك بواسطة حركة الذرات أو الجزئيات.

يمكن نقل الصوت (نشر الصوت) عبر أوساط عديدة (هواء مواد صلبة .....) وبالتالي يمكن قياس عن طريق قياس مستوى الضغط (للتغير) عند موضع ما (location).

الصوت

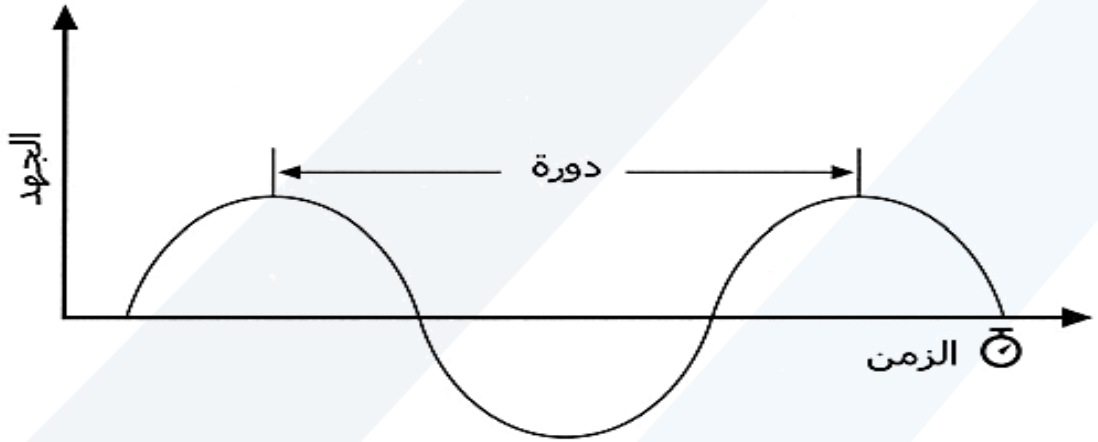


الصوت

يعتبر الصوت كإشارة حيث يعتمد على :

1- التردد frequency : عدد النبضات في الثانية ويقاس بالهرتز= دورة / ثانية

2-المطال Amplitude: مقدار الإزاحة لموجة الصوت انطلاقاً من موجة الضغط الجوي في منطقة انتشار الصوت .



الصوت

- تتحسس الأذن البشرية لمجال واسع من الترددات الصوتية يمتد بين(20 HZ→22KHZ) وتكون ذات حساسية قصوى للترددات الصوتية بين (2KHZ→4KHZ) .
- بينما الصوت الصادرعن الإنسان فيمتد في المجال (500HZ→2KHZ)

وهنا نميز مفهومين :

1- المجال تحت الصوتي Infra Sonic: (0 →20 HZ).

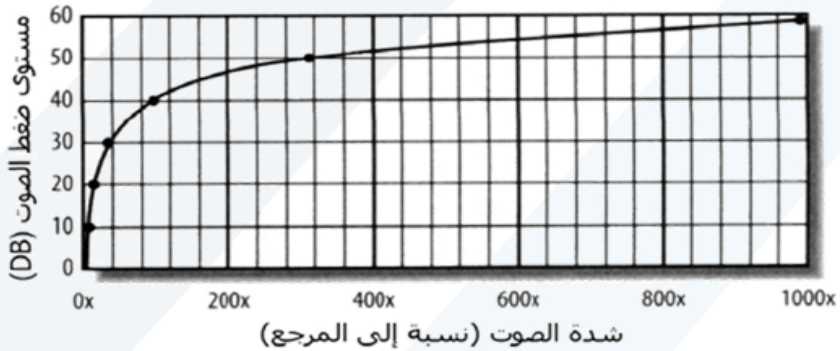
2- المجال فوق الصوتي Ultra Sonic: (20 KHZ →1 GHZ).

كيف يُقاس الصوت

لكي يكون من السهل إيجاد علاقة بين مستويات ضغط الصوت وكيفية إدراك ارتفاعه، يُستخدم مقياس الديسبل "Decibel "dB. ويُبنى الديسبل على أساس مقياس لوغاريتمي يمثل مدى

الصوت

ارتفاع الصوت (الشكل 8.3). يمكنك الإشارة إلى صوت بأنه أعلى بمقدار 10 dB من صوت آخر، أو أنعم بمقدار 3 dB. إن التغير في شدة الصوت بمقدار 3 dB يمثل الحد الأدنى في شدة الصوت الذي يمكن لمعظمنا تمييزه. أما تغير بمقدار 10 dB فيرفع الصوت بمقدار مرتين من الصوت الأساسي. وتُستخدم واحدة الديسبل أيضاً لمقارنة مستويات إشارات الصوت الكهربائية ضمن الستريو.



الشكل 8.3 العلاقة بين مستوى ضغط Pressure الصوت مع شدته Intensity

الصوت

يُقاس الديسبل Decibels بالنسبة إلى المستوى المرجعي Reference level، والمعروف بالمستوى 0 dB. وقيمة الديسبل غالباً ما تُسبق بإشارة موجب أو سالب للإشارة إلى ما إذا كانت أعلى أو أقل من المستوى المرجعي. وفي حالة مستويات ضغط الصوت، تمثل القيمة 0 dB SPL عتبة الاستماع إلى أذن شابة (غير متضررة مثلاً بسبب الموسيقى العالية). ولإعطائك فكرة عن كيفية سماع شخص حساس، تساوي تلك العتبة ضغطاً يساوي حوالي جزئين من مليار من الغرام لكل ملم مربع.

الصوت

يعبرعن شدة الصوت بمستوى ضغط الصوت مقدراً بالدسيبل و يعطى بالعلاقة التالية:

Sound Pressure Level (SPL) = 10 Log (P1/P2)

حيث أن P1: مستوى ضغط الصوت

P2: المستوى المرجعي

الصوت

الصوت	SPL	المستوى النسبي
صوت مسدس (7 م)	140	10,000,000x
صوت صفارة الحريق (30 م)	130	
عتبة الألم		
إقلاع طائرة نفاثة (60م)	120	1,000,000x
حفلة موسيقية (3م)	110	
	100	100,000x
موسيقى كلاسيكية عالية		
ازدحام مروري (2م)	90	
مقصورة الركاب في طائرة نفاثة	80	10,000x
محادثة طبيعية (1م)	70	
	60	1,000x
منزل ريفي طبيعي (ليلاً)	50	
	40	100x
قاعة هادئة		
همس هادئ (2م)	30	
حفيف الأشجار	20	10x
	10	
عتبة السمع	0	**المستوى المرجعي**
	Decibels	

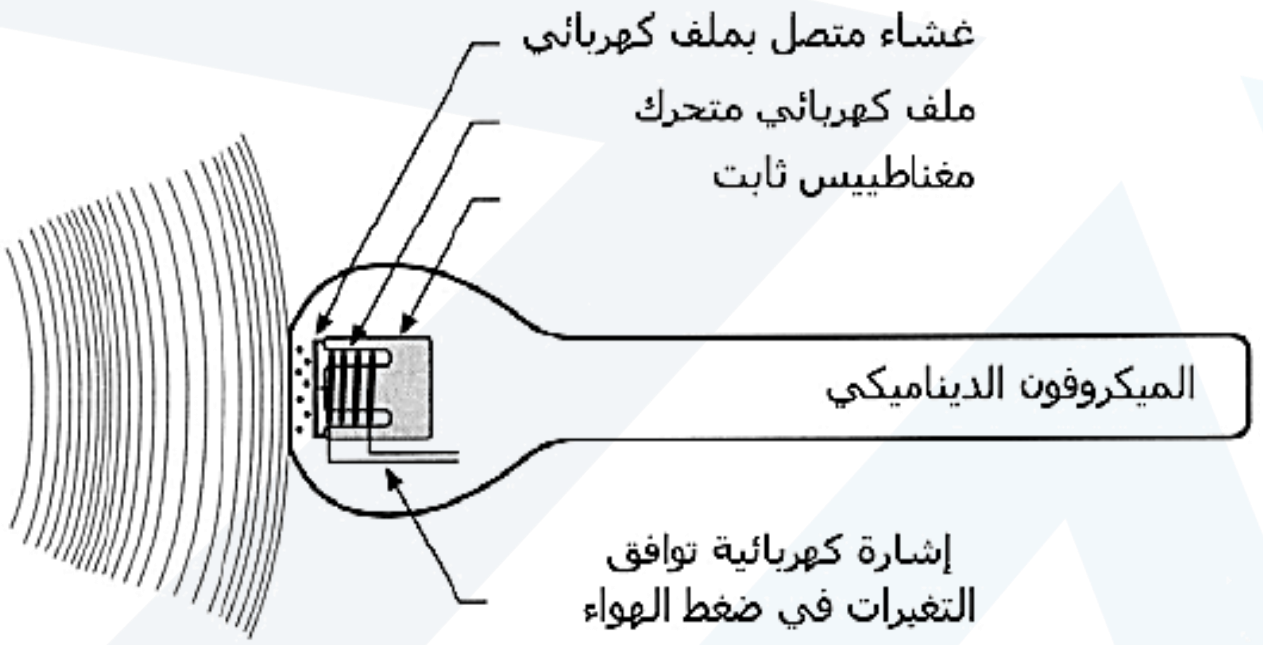
علاقة شدة الصوت بالأصوات الشائعة

الصوت

يقوم الميكروفون بتحويل تغيرات ضغط الهواء الناتج عن أمواج الصوت إلى جهد متغير يُدعى إشارة الصوت Audio signal، وهذا مشابه لمبدأ فونوغراف Edison في تحويل تغيرات ضغط الهواء إلى حركات للإبرة.

ويكون التحويل باستخدام الميكروفون إلى إشارة كهربائية تشابهية يتغير جهدها (الفولت) بشكل متناسب مع تغيرات مستوى الضغط في الإشارة الصوتية.

الصوت



ميكروفون ديناميكي يُحول أمواج الصوت إلى إشارات كهربائية

الشكل 8.7

الصوت

تسبب تغيرات ضغط موجة الصوت في الميكروفون اهتزاز غشاء حساس Diaphragm. وفي الميكروفون الديناميكي المبين في الشكل 8.7، يُوصل الغشاء إلى ملف Coil سلكي مُحاط بمغناطيس. إن حركة السلك في الحقل المغناطيسي تُولد تغيراً في جهد إشارة الصوت. إن الميكروفونات هي نوع من أنواع محولات الطاقة Transducer، فهي أداة لتحويل إحدى أشكال الطاقة إلى شكل آخر (طاقة الصوت إلى طاقة كهربائية). ومكبر الصوت هو أيضاً نوع من أنواع محولات الطاقة الذي يعمل بعكس الميكروفون، حيث أن إشارة الصوت التي تُغذى إلى ملف مُحاط بمغناطيس، وتغيرات الإشارة يؤدي إلى تحرك الملف. ويُنشئ الغشاء الموصول إلى الملف تغيرات في ضغط الهواء الذي يُشكل أمواج الصوت التي تسمعها.

الصوت

الصوت الرقمي

يُمثَّلُ الصوت الرقمي بسلسلة من الأرقام التي تتوافق مع مستوى الإشارة عند فترات محددة سلفاً. تتألف إشارة الصوت الرقمي من أرقام ثنائية تستخدم الرقمين واحد 1 وصفر 0 فقط.

تُدعى الواحدات 1s والأصفار 0s بالبتات Bits (اختصاراً لعبارة الأرقام الثنائية Binary digits)، وهي تُمثَّل بواسطة جهدين فقط هما مستوى جهد منخفض والذي يكافئ 0، ومستوى جهد عالٍ (يكافئ الرقم 1).

فيما يلي أمثلة تُظهِر سلسلة من الأرقام الثنائية:

11010001، 0001111، 01001010، 10110111، 10101010

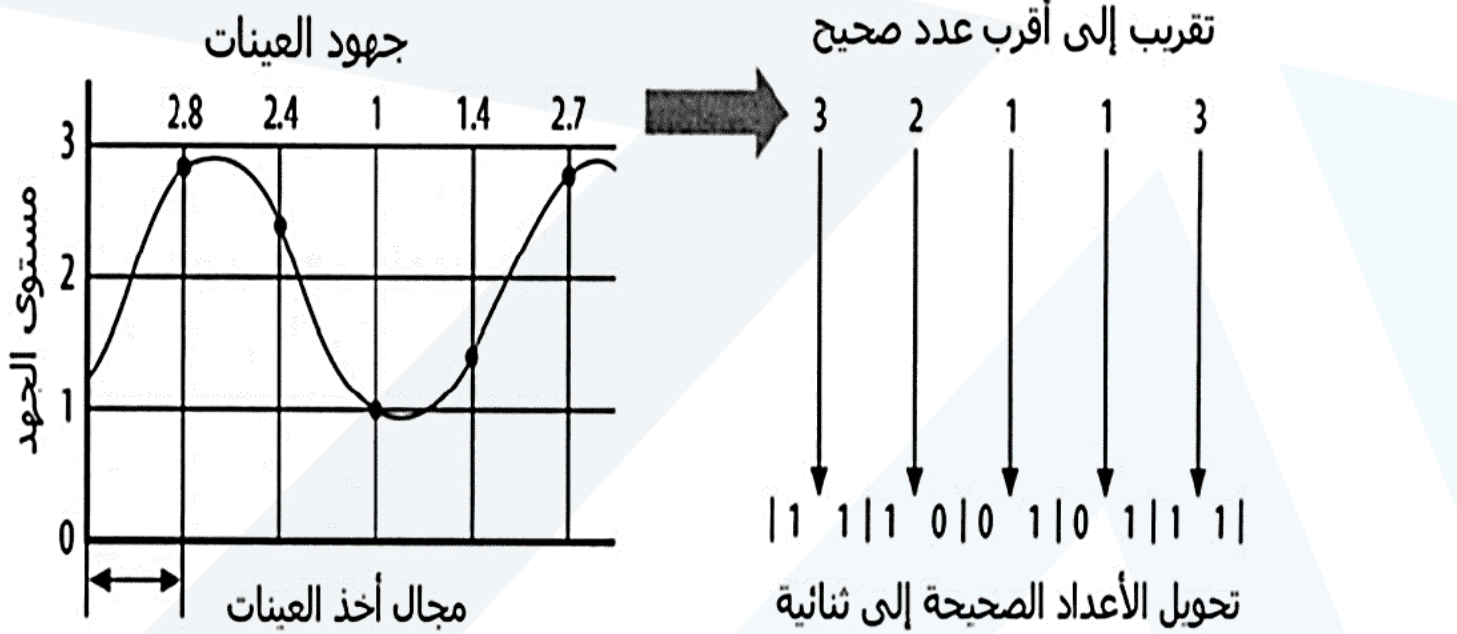
ترقيم الإشارة الصوتية Digitalization

آخذ العينات ومعالجتها "Sampling"

لتحويل الإشارة التشابهية إلى إشارة رقمية، يُقاس الجهد في فترات زمنية منتظمة وتُحدَّد قيمة رقمية تكافئ كل جهد عن طريق محول تشابهي رقمي A/D "Analog-to-Digital". تُدعى تلك العملية بأخذ العينات ومعالجتها Sampling، وتتم عملية قياس الجهد (أخذ العينات) آلاف المرات كل ثانية. تُقرَّب قيمة كل عيِّنة Sample إلى أقرب عدد صحيح، ويُحوَّل إلى عدد ثنائي، كما هو مبين في الشكل 8.8.

إذا حاولت الاستماع مباشرة إلى إشارة صوت رقمي، فإنك ستسمع ذبذبات صوتية فقط. ولكي تسمع الصوت الأصلي، يجب أن يُعاد تحويل الإشارة الرقمية إلى إشارة تشابهية بحيث يستطيع مكبر الصوت إعادة إنشاء الأمواج الصوتية. وتُنجز تلك العملية بواسطة محول رقمي تشابهي D/A. في معظم أنظمة الستريو المنزلي، فإن عملية التحويل الرقمي/التشابهي D/A تحدث ضمن بطاقة الصوت.

ترقيم الإشارة الصوتية Digitalization



الشكل 8.8 أخذ العينات لإشارة تشابهية

ترقيم الإشارة الصوتية Digitalization

معدل أخذ العينات

إن معدل أخذ عينات الإشارة الصوتية يعني عدد المرات التي يُقاس فيها مستوى الإشارة في الثانية الواحدة. وتؤخذ عينات إشارة الصوت في القرص المضغوط CD audio بمعدل 44100 مرة في الثانية 44.1 kHz. وتدعم إشارة Digital Audio Tape "DAT" معدل أخذ عينات يساوي 32 kHz و 44.1 kHz و 48 kHz. ويُستخدم معدل أخذ عينات 22.05 kHz من أجل تطبيقات الوسائط المتعددة، ومعدل 11.025 kHz من أجل تطبيقات الاتصالات.

يجب أن يكون معدل أخذ العينات أكبر بمرتين على الأقل من أي تردد يُعاد تشكيله. فزيادة معدل أخذ العينات يسمح لك بإعادة تشكيل تردد أعلى. إن معظم الناس لا يستطيعون سماع ترددات أعلى من 15 kHz، لذلك فإن معدل أخذ عينات يساوي 44.1 kHz لإشارة الصوت CD أكثر من كفاية لإعادة إنتاج أعلى ترددات يمكن للناس سماعها.

ترقيم الإشارة الصوتية Digitalization

تدعم صيغة Mpeg ACC معدل أخذ عينات يصل إلى 96 kHz، أما صيغة DVD-Audio فتدعم معدل أخذ عينات يصل إلى 192 kHz. وهذا الارتفاع في معدل أخذ العينات يؤدي إلى إنتاج دقة أكثر في الستريو وفي معلومات تحديد موضع الصوت المحيط عن طريق إنقاص تأخير التوقيت، بالرغم من أن ذلك مثير للجدل.

ترقيم الإشارة الصوتية Digitalization

الدقة

إن دقة الإشارة الرقمية هي عدد القيم الصحيحة المميزة المتاحة لتمثيل مستوى جهد الإشارة التشابهية. وبما أن القيمة الدقيقة للعينة تُقرَّب إلى أقرب عدد صحيح، فكلما زادت تلك القيم الصحيحة، كلما زادت دقة الجهد المُمثَّل.

تُحدَّد الدقة من خلال عدد الأعداد الثنائية Bbits المستخدمة لتخزين كل عينة. فعدد الأعداد الثنائية Bits يحدد مجال القيم التي يُمكن تحديدها لكل عينة – فكلما زاد عدد الأعداد الثنائية التي تستخدمها، يمكنك تمثيل رقم أكبر.

تستخدم صيغة الصوت CD، 16 bits لكل عينة (الدقة تساوي 16-bit)، التي تؤمن 65536 (2^{16}) قيمة صحيحة ممكنة. إن العديد من أنظمة الصوت الرقمي القوية التي تُستخدم في تسجيل الاستديو تستخدم دقة 24-bit من أجل مجال ديناميكي أكبر (سيُناقش فيما بعد) وهي مطلوبة عند التعديل وخلط الإشارات الرقمية.

ترقيم الإشارة الصوتية Digitalization

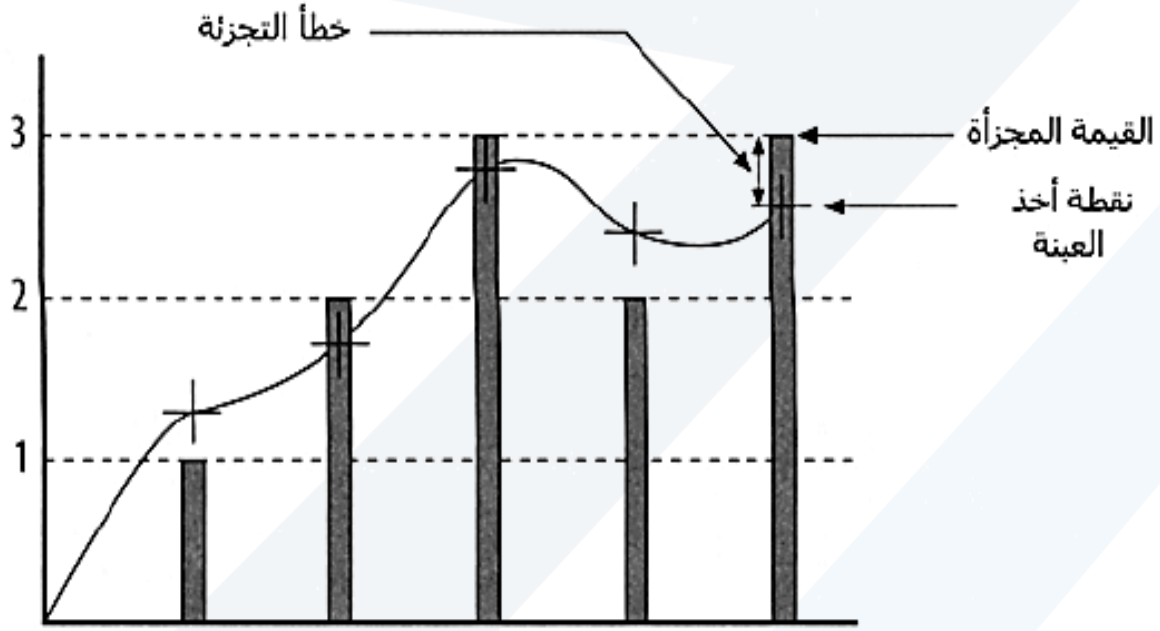
تجزئة الكميات

تُعالج الحواسيب الأعداد الصحيحة بكفاءة أكبر من معالجتها للأعداد الحقيقية التي تحتوي على فاصلة عشرية. وبما أن جهد الإشارة التشابهية يتغير باستمرار، فالقيم المقاسة من أجل معظم العينات سوف لن تكون أعداداً حقيقية. وهكذا فإن محول الإشارة التشابهية إلى رقمية يُقرب قيمة كل عينة إلى أقرب عدد صحيح بعملية تُدعى تجزئة الكميات Quantization الشكل 8.10 يُحدد مجال القيم الممكنة بواسطة دقة الإشارة.

التأثير الجانبي للتجزئة هو حدوث أخطاء صغيرة في التقريب مما يشوِّه الإشارة. يزداد تشويه التجزئة كلما انخفض المستوى لأن الإشارة تستخدم جزءاً أصغر من المجال المُتاح، وأية أخطاء تكون أكبر من النسبة المئوية للإشارة. إن المزايا الأساسية لصيغ الصوت المشفرة مثل MP3 هي أن عدداً أكثر من الأرقام الثنائية Bits يمكن أن تُوزَّع إلى إشارات ذات مستوى منخفض لتقليل أخطاء التجزئة.

تُقدم عملية Dithering ضجيجاً عشوائياً إلى الإشارة لنشر تأثيرات تشويه التجزئة وجعلها غير ملاحظة قدر الإمكان. ونحصل بالنتيجة على نتيجة أفضل.

ترقيم الإشارة الصوتية Digitalization

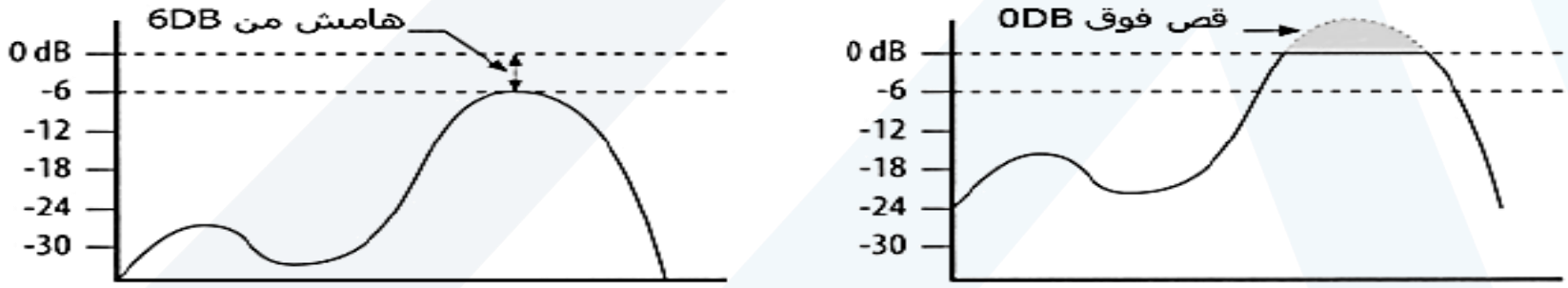


الشكل 8.10 أخطاء التجزئة

ترقيم الإشارة الصوتية Digitalization

القص "Clipping"

يُعبَّر عن المستويات في إشارة الصوت الرقمي بديسبل dB سلبي، ويُمثِّل المستوى 0 dB أعلى مستوى ممكن. إن أحد أحكام الصوت الرقمي هو أن الإشارة لا تتجاوز 0 dB على الإطلاق. فإذا كان متوسط مستوى الإشارة مرتفع جداً، فسيتم قص الذرى Peaks عند مستوى 0 dB الشكل 8.11 لأن هذه هي أكبر قيمة يمكن تمثيلها بواسطة الأعداد الثنائية. يُسبب القص تشويها إلى حد ما ويجب تجنبه مهما كلف الأمر. يجب أن تكون مستويات الإشارة المتوسطة دائماً أقل قليلاً من الحد الأعظمي لإنشاء مساحة خالية من أجل الذرى غير المتوقعة.



الشكل 8.11 القص Clipping

ترقيم الإشارة الصوتية Digitalization

معدلات البتات "Bit-rates"

يشير مصطلح معدل البتات إلى عدد البتات (الأرقام الثنائية، أصفار 0s وواحدات 1s) المستخدمة في كل ثانية لتمثيل الإشارة. فمعدل البتات بالنسبة للصوت الرقمي يُمثَّل بآلاف البتات في كل ثانية Kbps ويرتبط مباشرة بحجم الملف وجودة الصوت. حيث تُنتج معدلات البتات المنخفضة ملفات صغيرة وجودة صوت ضعيفة، بينما تُنتج معدلات البتات المرتفعة حجم ملفات كبيرة وجودة صوت عالية.

لحساب معدل البتات لصوت غير مضغوط، نضرب معدل آخذ العينات Sampling rate بالدقة (8 bit، 16 bit، الخ...) وعدد القنوات Channels. تملك إشارة الصوت CD audio معدل أخذ عينات 44.1 kHz لكل ثانية، ودقتها 16 bits، وتستخدم قناتين 2 channels، لذلك فمعدل البتات يساوي تقريباً 1411 kbps أي:

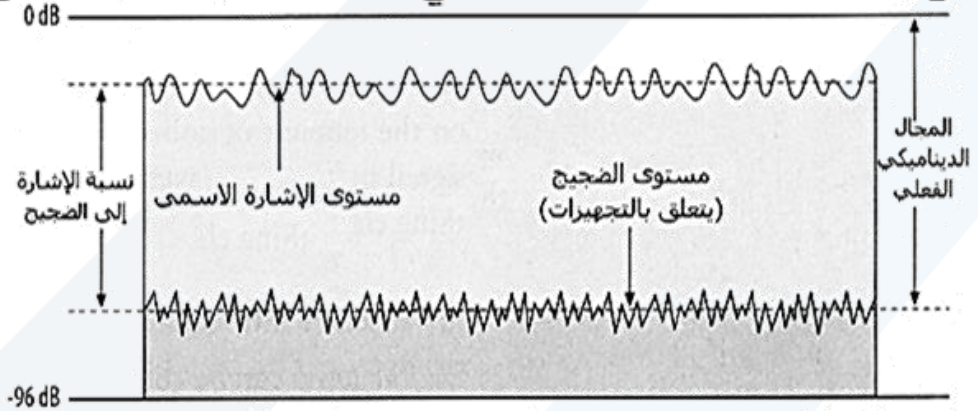
$$44100 \times 16 \times 2 = 1411200$$

$$\text{sampling rate} \times \text{resolution} \times \text{channels} = \text{bit-rate}$$

ترقيم الإشارة الصوتية Digitalization

المجال الديناميكي "Dynamic range"

المجال الديناميكي هو الفرق بالديسبل dB بين أقل وأعلى مستوى للإشارات التي يمكن أن ينتجها نظام الصوت انظر الشكل 8.12. فإشارة الصوت الرقمي عند دقة 16 bit تملك مجالاً ديناميكياً نظرياً يساوي حوالي 96 dB، لكن القيمة الفعلية للمجال الديناميكي تكون عادة أقل بسبب المرشحات التي تُبنى في معظم أنظمة الصوت. إن المجال الديناميكي لمسجلات الفينيل Vinyl والأشرطة المغناطيسية أقل بكثير من المجال الديناميكي لإشارات CD audio وتختلف بحسب جودة التسجيل وأجهزة إعادة التشغيل. يتغير المجال الديناميكي أيضاً بالاعتماد على نوع الشريط.



الشكل 8.12 المجال الديناميكي ونسبة الإشارة للضجيج

ميزات الصوت الرقمي

ميزات الصوت الرقمي

استمرت المجادلات لسنوات عديدة بين محبي الصوتيات Audiophiles والمهندسين حول جدارة الصوت الرقمي مقابل التقنية العالية للأنظمة التشابهية، وحتى أيامنا هذه هناك بعض محبي الصوتيات الذين يؤكدون جدارة أنظمتهم التشابهية. ومن الواضح فوز تقانة الصوت الرقمي في معظم الحسابات، لكن من المفيد فهم مزايا الصوت الرقمي مقابل الصوت التشابهي، لأن العديد من أنظمة الصوت تحتوي على مزيج من المكونات الرقمية والتشابهية.

يمكن جمع مزايا الصوت الرقمي بما يلي: مجال ديناميكي أوسع، مقاومة أكثر للضجيج، نسخ تام، قدرة على استخدام مبدأ تصحيح الأخطاء لتعويض الخلل. هناك أنواع عديدة من الوسائط الرقمية، مثل الأقراص المضغوطة CDs والأقراص الصغيرة MiniDiscs، تكون أيضاً أكثر تحملاً من الوسائط التشابهية الشائعة مثل مسجلات الفينيل Vinyl والأشرطة المغناطيسية.

ميزات الصوت الرقمي

مقاومة أفضل للضجيج

في الأنظمة التشابهية، يتم التقاط التشويش الستاتيكي والطنين الناتج عن التردد الكهرطيسي الكهربائي "EMF" عند مرور الإشارة خلال الدارات التشابهية، بالإضافة إلى الضجيج الحراري الناتج عن التجهيزات الرقمية. أما الإشارات الرقمية فهي مُحصنة تماماً من تلك الأنواع من الضجيج. لأن جهد الإشارة الرقمية يتراوح بين قيمتين فقط (منخفضة وعالية)، والتغير الصغير في الجهد الناتج عن الضجيج سوف لن يؤثر على كمية الضجيج في الإشارة، مع أن أي ضجيج يدخل الإشارة قبل تحويلها إلى إشارة رقمية سوف تتم إعادة توليده مع أي شيء آخر.

ميزات الصوت الرقمي

المجال الديناميكي الأوسع

تستطيع إشارة الصوت الرقمي عند دقة أخذ عينات 16 bits أن تُنجز مجالاً ديناميكياً يساوي حوالي 90 dB، بالمقارنة مع 80 dB بالنسبة لأفضل الأنظمة التشابهية. وهذا هام خاصة من أجل الموسيقى الكلاسيكية، حيث أن المستويات ضمن نفس المقطوعة الموسيقية يمكن أن تُصنف من آلة الفلوت flute الهادئة إلى التجهيزات ذات الصوت العالي التي تعمل في وقت واحد.

سرعة النسخ وجودته

يمكن نسخ ملف الصوت الرقمي من جهاز رقمي إلى آخر دون ضياع في المعلومات، أما في حالة التسجيلات باستخدام الأجهزة التشابهية تضيع بعض المعلومات ويدخل الضجيج مع كل نسخة. حتى أفضل الأنظمة التشابهية تضيع حوالي 3dB (3 ديسبل) من نسبة الإشارة إلى الضجيج

ميزات الصوت الرقمي

عند تسجيل نسخة. وبعد نسخ أجيال متعددة تفسد جودة الصوت إلى حد سيِّئ. أما في حالة الصوت الرقمي، بإمكانك توليد عدد غير محدود من النسخ التامة دون أن تتأثر على الإطلاق.

كما أن النسخ الرقمي أسرع بكثير من النسخ التشابهي، حيث يجب أن تُسجَّل النسخ التشابهية في الزمن الحقيقي. فمثلاً، عند استخدام وسيلة تشابهية مثل مسجلة الشريط المغناطيسي Cassette deck، فإنها تستغرق مدة 60 دقيقة لتسجيل 60 دقيقة من الموسيقى من قرص مضغوط CD. أما في حالة الصوت الرقمي، يُمكنك نسخ نفس الموسيقى إلى قرصك الصلب بأقل من 5 دقائق.

أما عند إنشاء نسخة أصلية باستخدام جهاز رقمي، فسوف يستغرق ذلك نفس زمن إنشاء النسخة باستخدام جهاز تشابهي، لأنك تحتاج إلى التقاط الصوت في تنسيق تشابهي في الزمن الحقيقي ثم تحويله إلى إشارة رقمية.

ميزات الصوت الرقمي

تصحيح الأخطاء.

معظم وسائط الصوت الرقمي، مثل الأقراص المضغوطة CDs و DATs، تملك وسيلة تصحيح أخطاء مبنية داخلياً. حيث أن حوالي 25% من السعة الإجمالية للقرص المضغوط CD تُستخدم من أجل تصحيح أخطاء البيانات. فإذا سبب خدش ما على القرص ضياع القليل من البيانات، فإن مُشغِّل الصوت يملأ الأماكن المفقودة، وسوف تعمل الموسيقى بشكل طبيعي. أما في الوسائل التشابهية، فلن تجد ما يعيد الخطأ.

ترقيم الإشارة الصوتية Digitalization

المتانة المحسنة

إن الوسائل الرقمية، مثل CDs و MiniDiscs، أكثر متانة من أي نوع من الوسائل التشابهية. وهذه المتانة المحسنة هي واحدة من الأسباب الرئيسية التي دفعت الناس لاستبدال مسجلاتهم عند ظهور الأقراص المضغوطة CDs. ففي كل مرة تقوم فيها بتشغيل شريط مغناطيسي، فإن أجزاء من الفينيل أو الأوكسيد تتآكل ومع تراكم هذا التآكل تصبح تلك الأشرطة غير صالحة للعمل. في حين أنك تستطيع تشغيل القرص المضغوط أو MiniDisc مئات المرات مع عدم تأثر جودة الأداء على الإطلاق. لكن الوسائل الرقمية ليست أبدية، فيمكن أن تتعطب بلحظة وتصبح غير صالحة للعمل، في حال كسرها أو ارتفاع درجة حرارتها أو خدشها عند طبقة التسجيل.

ترقيم الإشارة الصوتية Digitalization

الضغط

تكون بنية ملف الصوت الرقمي في معظم أشكالها غير مضغوطة، وهذا يعني أنه يمكن الوصول إلى المعلومات مباشرة من خلال بطاقة الصوت ومعظم برامج تشغيل الصوت. فالأقراص التي تشتريها من مخازن التسجيل المحلية تحتوي على ملفات صوت غير مضغوطة. ومن الجدير بالذكر أن ملفات الصوت غير المضغوطة لا تتطلب عمليات معالجة قوية للتسجيل أو التشغيل. أما العائق الرئيسي في استخدام ملفات الصوت غير المضغوطة فهي أنها تستهلك حجماً تخزينياً كبيراً.