

Introducción a la restauración de audio

Características del diseño de los algoritmos de restauración

Un algoritmo para restauración de audio utiliza presunciones sobre el comportamiento de los elementos de ruido para recuperar una señal “limpia” de una señal degradada y, por lo tanto, la calidad de la restauración depende de la eficacia de estas presunciones. Cuanta mayor sea la cantidad de información sobre la grabación, tanto mejor podrán ser diseñados los algoritmos de restauración.

Por ejemplo, si la señal original es un violín solo, alguien podría desear incluir en su algoritmo las características sonoras del violín, de forma que estos supuestos permitan al algoritmo distinguir entre los efectos del proceso de degradación y la señal. Estas diferencias se podrían utilizar, entonces, para restablecer la señal limpia a partir la señal “corrupta”. Los problemas se presentan cuando estas presunciones fallan, es decir, cuando representan una imagen incompleta del verdadero proceso de degradación o cuando no representan exactamente la señal que debe ser restaurada. Estos supuestos, por lo tanto, limitan el número de grabaciones a las cuales un algoritmo puede ser aplicado. No debe esperarse que este algoritmo para un violín funcione correctamente para una gran orquesta o para una gaita.

Una señal musical es de naturaleza aleatoria¹, al igual que la mayoría de los procesos que la degradan. La teoría de la información dice que mezclar dos señales aleatorias implica una pérdida de información y que, en consecuencia, una restauración perfecta es imposible. Un algoritmo de restauración debe poder conformar la señal genuina más probable a partir de la información disponible. Curiosamente, este algoritmo representa una pérdida adicional de información sobre la acción que degrada; ya que elimina la mayor parte de ella.

Esto tiene implicaciones importantes en caso que, si un algoritmo más avanzado estuviera disponible, se realizara un tratamiento adicional: es casi siempre mejor trabajar con la grabación original antes que con una versión ya procesada. Un buen ejemplo de ello puede verse al quitar el *crackle* característico de los discos de 78 rpm: mientras que la señal registrada sólo puede tener un ancho de banda de 12 kHz, el *crackle* tendrá el ancho de banda completo del equipo de reproducción. Por eso, un filtro pasa-bajos (que puede ofrecer una mejora subjetiva en la calidad de la señal) quita mucha información que podría ser usada por un algoritmo más avanzado.

La evaluación definitiva para cualquier algoritmo es el oído. Las preguntas que pueden hacerse al respecto son:

- ¿Afecta el algoritmo la calidad de la señal a nivel perceptivo?
- ¿Sobre qué región del material trabaja exitosamente?
- ¿Las perturbaciones han sido eliminadas o reducidas?
- ¿Se ha introducido algún tipo de artefacto durante el proceso?
- ¿Hay un equilibrio aceptable entre los puntos antes mencionados?

¹ Considerada desde un punto de vista puramente técnico. N.T.

¿Por qué trabajar en un entorno digital?

Actualmente el sonido digital ha sido aceptado de forma masiva y las discusiones con respecto a los pros y contras del audio analógico vs. el digital han disminuido. Sin embargo, hay otras consideraciones que deben ser tenidas en cuenta al diseñar un procesador de sonido.

Mientras que una señal digital puede hacer una reproducción casi perfecta de una señal analógica, hay procesamientos sonoros que son propios de cada ámbito. Para tareas simples, una implementación analógica es, a menudo, la solución más rentable. Sin embargo, la mayoría de los procesos de reducción de ruido requieren complejas operaciones matemáticas que no son posibles en el dominio analógico. La tecnología asociada al procesamiento digital de señales se ha desarrollado para la implementación de estos procesos más complejos.

El advenimiento de las computadoras y de los discos rígidos permitió a los algoritmos de restauración tomarse todo el tiempo necesario para completar su tarea. Desafortunadamente, esto es una ventaja a medias, porque las aplicaciones en tiempo real permiten la interacción directa entre el oído del ingeniero y los parámetros controlables del algoritmo. La velocidad a la que pueda ser restaurado un track tiene, además, importantes consideraciones comerciales.

¿Qué procesamientos utilizar?

El orden en el cual el proceso de restauración es llevado a cabo determina, en buena medida, la calidad del resultado final. La secuencia correcta para este proceso es:

- eliminación de *clicks*,
- eliminación de *crackle*,
- eliminación de *buzz* (zumbidos), y finalmente
- eliminación de *hiss*².

Esto es así porque los *clicks* de mayor amplitud dificultan al reductor de *crackle* identificar y remover los pequeños *clicks* y *crackles* que constituyen el ruido superficial, el *buzz* y otros problemas de características similares. Además, si aparecen *clicks* durante el proceso de eliminación de *hiss*, éstos provocan confusiones en el algoritmo y crean efectos secundarios. Por otra parte, realizar primero la eliminación de *hiss* hará casi imposible identificar y quitar *clicks* y *crackle* en forma posterior.

La eliminación de *crackle* debe ser el segundo proceso porque este tipo de ruido también causa problemas al reductor de *hiss*. De la misma manera, debe realizarse la eliminación de *buzz* (en los casos que sea necesario) en el punto apropiado dentro del proceso total de restauración. Este paso estará, generalmente, después de la eliminación de *clicks* y *crackle*. En consecuencia, la eliminación de ruido de banda ancha debe ser siempre el proceso final en la cadena de la restauración.

² En este artículo utiliza el termino *hiss* como equivalente a ruido de banda ancha o *broadband noise*. N.T.

DeClick

El *declicker* más simple es un **atenuador** que, en el momento exacto en que detecta un click, silencia ambos canales para reducir su impacto. La duración mínima de este enmudecimiento (en realidad un proceso rápido de fade-out y fade-in) es típicamente 2,5 mseg. y, en todos los casos, debe ser mayor que la longitud del click. Por lo tanto, incluso la eliminación de unos pocos clicks suele afectar seriamente la calidad de la señal de audio.

Dado que este método solamente intenta hacer los clicks menos notorios, en forma alguna restaura la señal subyacente. Además, este procedimiento solamente es aplicable cuando la energía contenida en el click es mucho mayor que la energía de la señal. A pesar de lo primitivo que es este concepto, también se lo ha utilizado en el dominio digital. Muchos sistemas digitales de corrección de errores silencian la señal cuando no pueden hacer frente a una alta densidad de errores o cuando las pérdidas de información son significativas.

Un algoritmo analógico de eliminación de clicks más sofisticado es el que se usa en un dispositivo conocido como **switcher**. Usando como fuente dos señales casi idénticas (las paredes opuestas del surco de un disco monofónico reproducido por medio de una cápsula estereofónica), el dispositivo monitorea la señal más limpia (es decir, la de energía más baja) y conmuta (*switches*) la salida entre las dos señales según sea necesario.

Este método elimina los clicks más notorios, pero como todas las soluciones no-digitales, no puede distinguir los clicks más pequeños de los componentes genuinos de la señal. Además, el atenuador asume que la fuente es perfectamente monoaural. Si las paredes del surco del disco son muy diferentes o sufren una degradación simultánea, entonces esta presunción (y por lo tanto la restauración) falla.

La tecnología digital ha permitido implementar conceptos que no podían materializarse usando electrónica analógica. El primero de ellos es el que se conoce como **Sample & Hold** (S&H) que, en varios aspectos, se basa en el mismo tipo de algoritmo utilizado por el *atenuador* mencionado anteriormente. Sin embargo, en vez de crear una meseta en la señal en la amplitud cero, este método supone que el nivel de la señal debe estar próximo al nivel de la última muestra antes de que el click se produzca, y lo que hace es mantenerlo constante. El método de *S&H* elimina las manifestaciones obvias de los clicks y las rayaduras (*scratches*), pero la forma de onda resultante contiene una distorsión desagradable y muchos *bumps* ("saltos") y "*pops*".

Mientras que estos *thumps* ("golpes") de menor amplitud pueden ser preferibles a los clicks de mayor nivel de la data sin tratar, la señal se verá severamente deformada si la densidad de los clicks es alta. Por otra parte, muchos oyentes se quejan de que estos artefactos y efectos secundarios (que provocan, por ejemplo, los sistemas de corrección de errores de algunos lectores de CD domésticos) son más desagradables que los clicks que remplazan.

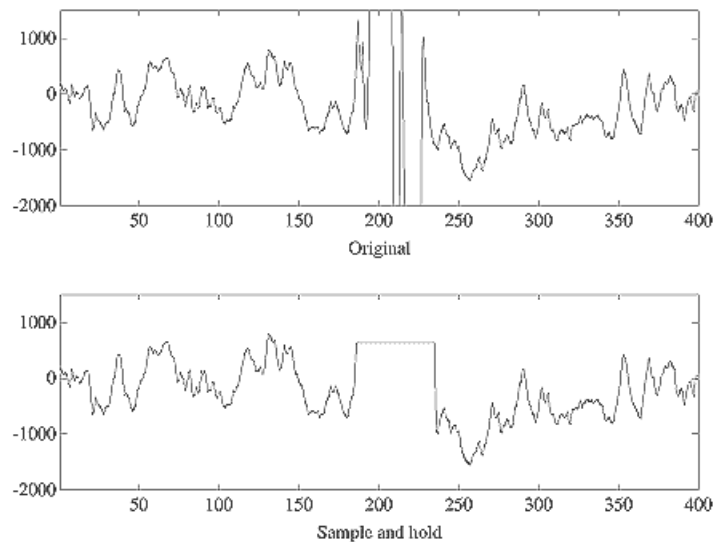


Fig. 1: Sample and Hold.

La siguiente fase es la **Interpolación lineal**. Mientras que el método de *S&H* busca un sample de la señal no degradada que sea adyacente al click, la interpolación lineal toma en cuenta dos muestras, una anterior y otra posterior, y el tiempo transcurrido entre ellas.

Al utilizar este algoritmo, la data “corrupta” es sustituida por una línea recta que une el último sample “bueno” con el siguiente que esté disponible. Si bien este método no es factible en el dominio analógico, resulta relativamente simple de realizar en el digital.

El resultado audible de este método es menos agresivo que el de *Sample and Hold*, pero adolece de artefactos de baja frecuencia y de una reducción del ancho de banda en la región interpolada.

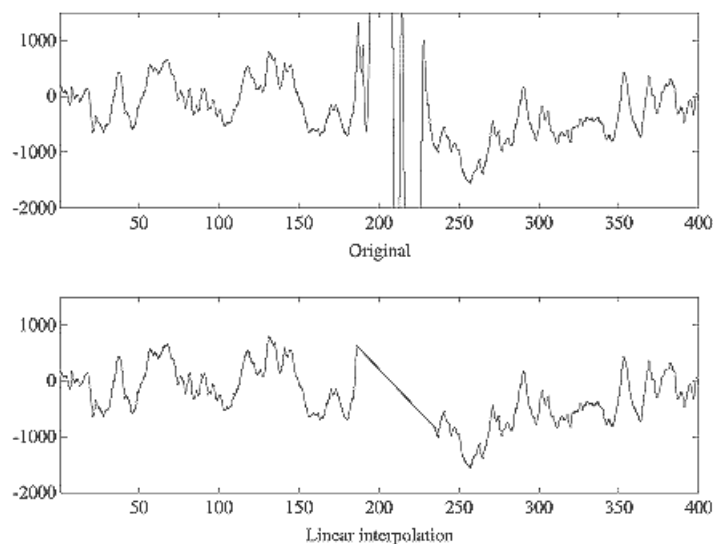


Fig. 2: Interpolación lineal, un algoritmo de detección más avanzado.

El interpolador de la empresa Cedar está basado en una técnica de **modelado de la señal**. Por medio del análisis de varios milisegundos de la región afectada, éste puede

construir un modelo de la señal subyacente (como la voz hablada o la música) y después utilizar esta información para reemplazar cada click con una interpolación que se ajuste a este patrón.

El *declicker* de Cedar incorpora los más avanzados progresos de este algoritmo (junto a un sofisticado detector de clicks) para quitar hasta 2500 clicks por segundo, en cada canal, en tiempo real. El funcionamiento de este sistema es tan eficiente que, en casi todos los casos, no es posible notar que la señal estaba dañada antes de la restauración.

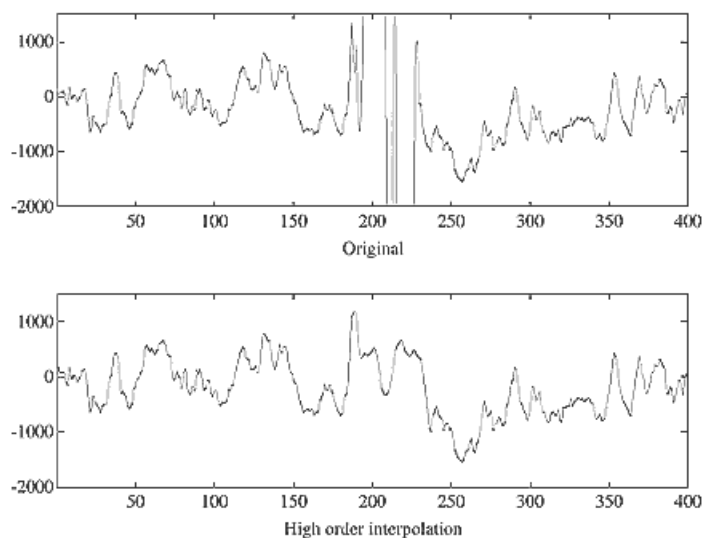


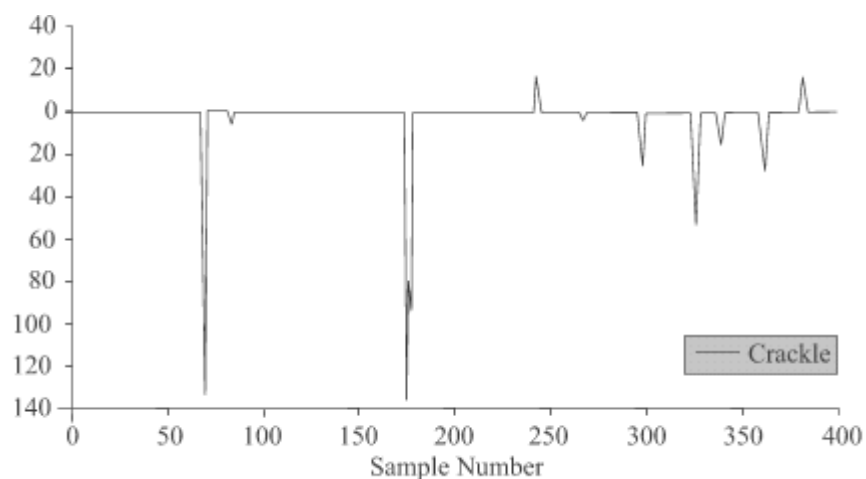
Fig. 3: Un interpolador de más alto nivel basado en un sofisticado algoritmo de detección.

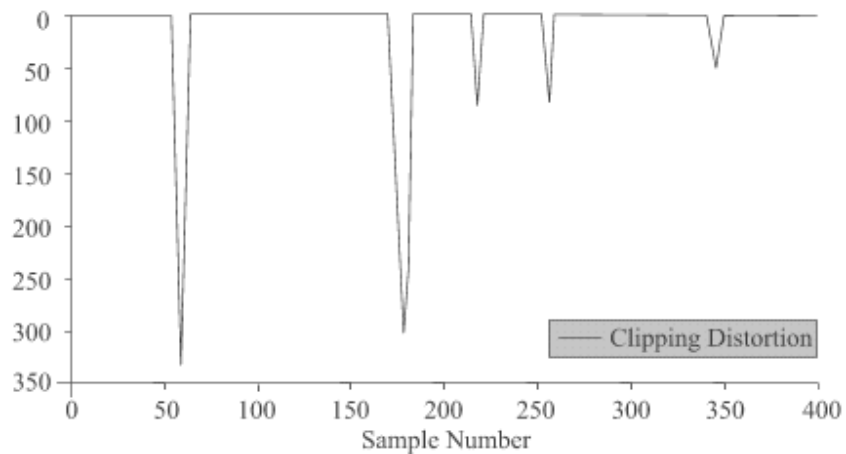
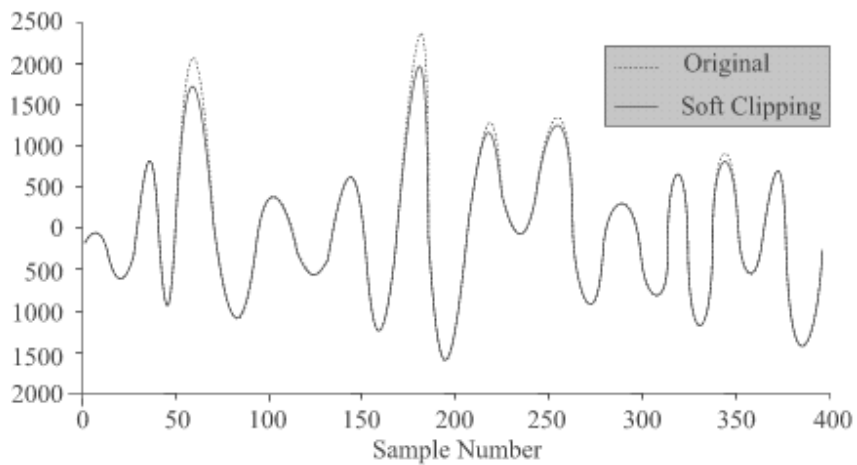
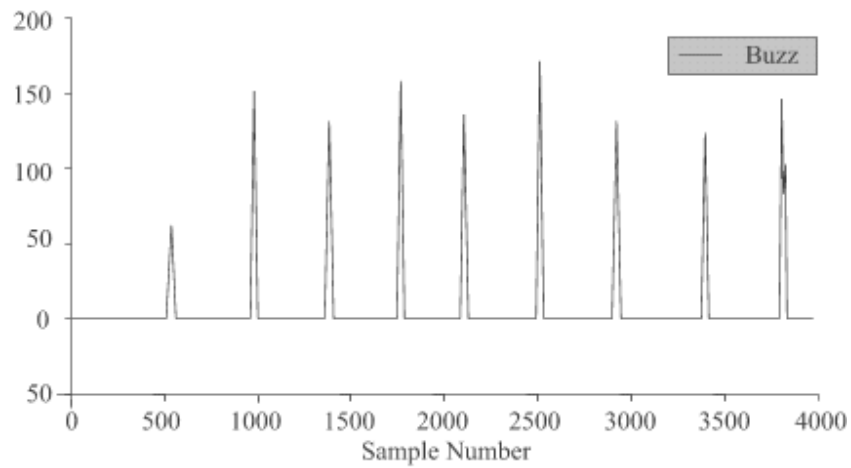
DeCrackle

El concepto “eliminación de *crackle*” es un poco engañoso, ya que los algoritmos de reducción de *crackle* de Cedar remueven un amplio rango de alteraciones “impulsivas” de alta densidad, pequeña amplitud y corta duración, que pueden causar una variedad de degradaciones, cada una de ellas con una sonoridad característica.

- Si estas alteraciones están distribuidas aleatoriamente, la degradación sonará como **crackle** propiamente dicho o ruido de “fritura”. Hay, por ejemplo, un hongo que come la materia vegetal contenida en los viejos discos de 78 rpm. y que deja millones de marcas en la superficie del disco. Son estas marcas las que causan las perturbaciones que se producen durante la reproducción, dando lugar al ruido característico de estas grabaciones.
- Cuando las alteraciones están espaciadas regularmente, la degradación sonará como **un zumbido (buzz)**. Por ejemplo, los reguladores usados para variar la intensidad de las luces de las bandejas de iluminación interrumpen parte de la señal de corriente alterna dos veces cada ciclo. Este proceso crea transientes eléctricos agudos y, si hay equipamiento de audio cercano que esté mal blindado, estos transientes pueden inducir pequeños clicks regulares que se perciben como un zumbido.
- Para el caso en que las alteraciones se correlacionen con la señal, la degradación se percibe como **distorsión**. Por ejemplo, la distorsión suave se puede considerar como un disturbio impulsivo agregado a la señal original en forma de un aplanamiento previo al *clipping*, que puede producirse al trabajar dentro de la región de *headroom* de algunos equipos.

Es importante destacar que hay muchos otros tipos de distorsión (tales como saturación del medio de grabación) que este algoritmo no puede tratar. Esto se debe a que esas otras distorsiones no son causadas por los disturbios de alta densidad descritos arriba.





El *crackle* y la distorsión poseen un espectro de banda ancha y, por ello, muchas personas intentan eliminarlos utilizando técnicas de reducción de *hiss*. Los zumbidos, por el contrario, tienen picos espectrales regulares y, generalmente, la técnica preferida para tratarlos (al menos hasta ahora) ha sido aplicar una gran cantidad de filtros *notch*, cada uno de los cuales quita un pico, junto con cualquier señal que pueda existir en esa frecuencia. Sin embargo, los impulsos suelen estar bastante espaciados en el tiempo y, en la mayoría de los casos, sólo el 10% de la señal se ve afectada por ellos. Por lo tanto, el restante 90% de la señal no está dañado, así que filtrarlo o procesarlo en cualquier otra forma similar, afectando su calidad, es enteramente inadecuado.

Desafortunadamente, la interpolación individual de cada impulso que utiliza un *de-clicker* tampoco es satisfactoria debido a la naturaleza misma del *crackle*. Un algoritmo estándar de detección de clicks no podrá identificar estos impulsos y tampoco podrá hacer frente a su alta densidad. Además, estos algoritmos asumen que el click o *scrach* han afectado completamente el audio y que no hay, por lo tanto, información útil de la señal. Las discontinuidades que causa el *crackle* son mucho más pequeñas y aditivas, por eso estas suposiciones no son pertinentes. Realizar un proceso de *declicking* en una señal con *crackle* eliminará demasiada información útil que un algoritmo optimizado para este tipo de ruido puede utilizar para mejorar la calidad final del audio procesado.

La búsqueda para desarrollar un proceso de eliminación de *crackle* óptimo ha mostrado que las señales con este tipo de ruido pueden ser divididas en dos componentes. El primero de ellos contiene la mayor parte de la señal (deseada) limpia. El segundo contiene toda la degradación más un residuo de la señal limpia.

Una vez que la señal se encuentra dividida de esta forma, el detector de *crackle* tiene la posibilidad de identificar con mucha más precisión las perturbaciones. Después de la detección, un interpolador convenientemente optimizado para la alta densidad del *crackle* puede utilizarse para quitar los disturbios de la señal con ruido. Esto no afecta el cuerpo de la señal de audio que ha sido separado de la señal a procesar. Cuando la señal degradada ha sido debidamente interpolada, ambas señales pueden recombinarse para reconstruir la señal original, pero ahora sin el *crackle*. Esta forma de trabajo logra que la información útil contenida en la señal original se conserve, incluso durante el proceso de interpolación.

DeBuzz

Bajo la denominación *buzz* (zumbido) suelen englobarse diferentes degradaciones de la señal de audio. En algunos casos esta describe los ruidos producidos por problemas con equipos de iluminación que, generalmente, se manifiestan en forma de pulsos regulares en la señal. En otras ocasiones, el término “zumbido” se utiliza para describir los sonidos producidos por las fallas eléctricas tales como problemas de descarga a tierra. Éstos pueden conducir a una variedad de ruidos indeseados, desde los más simples como el *hum* hasta los armónicamente más complejos: los zumbidos (*buzzes*) (Figura 1).

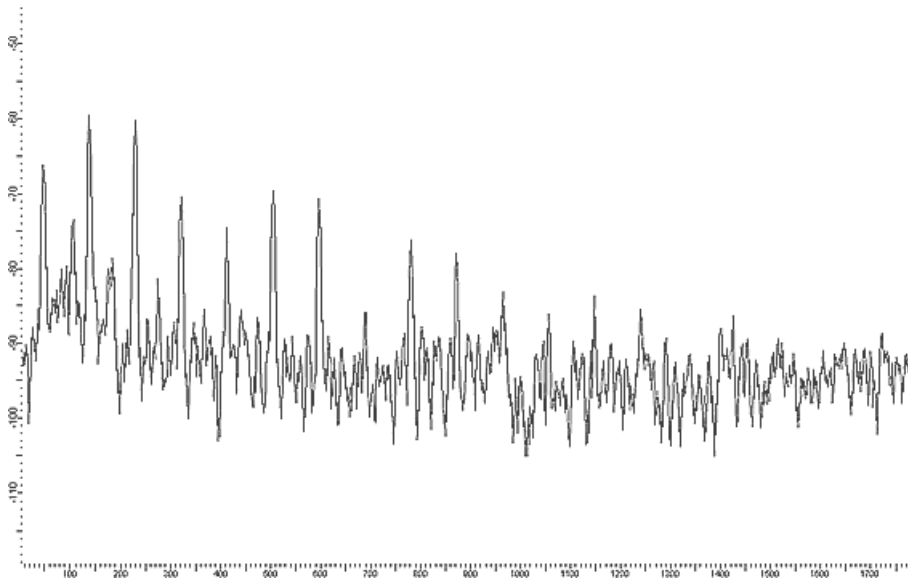


Fig. 5: Análisis espectral de un típico buzz con componentes armónicos.

Las señales de audio pueden ser visualizadas y modificadas principalmente de dos formas: en el dominio del tiempo (donde se considera la forma de onda de la señal), y en el dominio de la frecuencia (donde se considera el contenido espectral de la misma). Es importante recordar que estos dominios son apenas diferentes maneras de considerar la misma información. Sin embargo, es más eficaz manipular la información de audio y modificarla en el dominio que es más propio del problema que lo afecta. Por lo tanto, un zumbido que contenga señales impulsivas regularmente espaciadas será mejor restaurado usando un proceso de eliminación de *crackle* (dominio de tiempo), y no será considerado aquí. Por otra parte, un zumbido que tenga una estructura poco identificable en el dominio del tiempo, es probable que pueda ser caracterizado más fácilmente por su contenido armónico, y entonces será analizado y tratado en el dominio de la frecuencia.

Históricamente, los ingenieros han utilizado varias técnicas de filtrado convencional para eliminar *hum* y zumbidos. La más simple de ellas es el filtro **pasa-altos**, que atenúa la señal en todas las frecuencias debajo de su frecuencia de corte. Este se puede utilizar para eliminar *hum* que no tenga contenido armónico (generalmente debido a las redes de alimentación de la mayoría de los países) y, por lo tanto, con fundamentales de 50 Hz o de 60 Hz. Lamentablemente, este filtro también eliminará algo del sonido deseado junto con el tono no deseado, dando por resultado una señal con poco cuerpo debido a la falta de componentes graves.

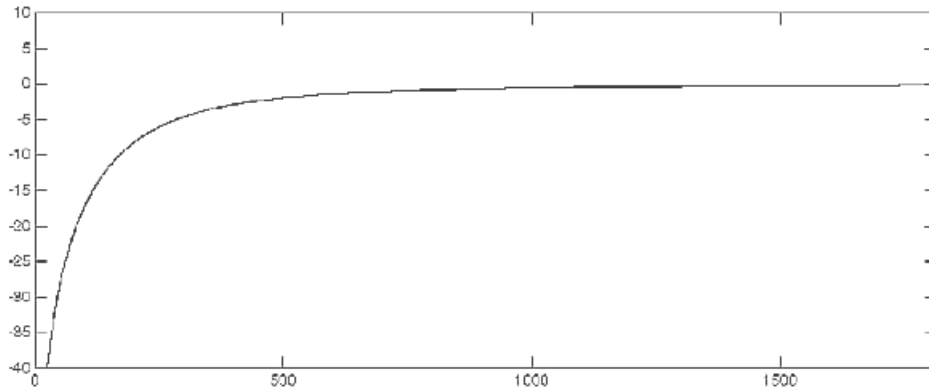


Fig. 6: Filtro pasa-altos

Algunos zumbidos complejos, además de los componentes graves de frecuencia tienen armónicos que alcanzan incluso varios kilohertz y, en consecuencia, un filtro pasa-altos es totalmente inadecuado para eliminar este tipo de *buzz*.

Un acercamiento más sofisticado implica el uso de **filtros comb**, llamados así porque la respuesta de estos filtros se asemeja a los dientes de un peine. (Ver figura 7).

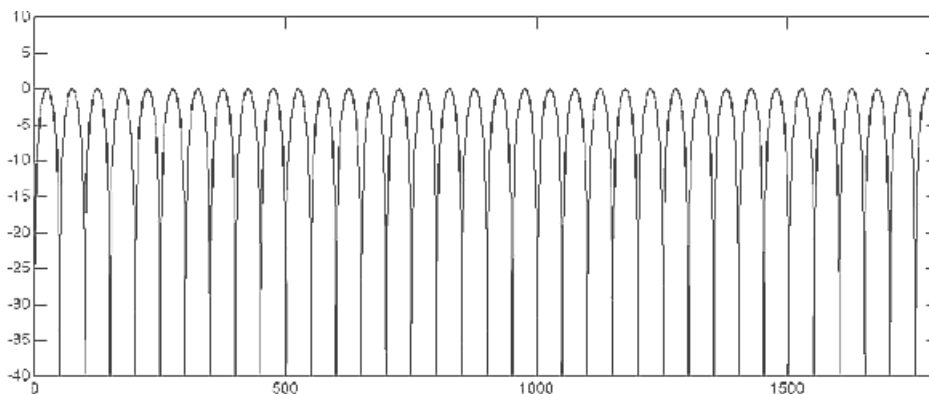


Fig. 7: Filtro comb

Estos filtros permiten quitar componentes de la señal para un conjunto de frecuencias espaciadas regularmente. Al mismo tiempo, cuanto más estrechos son los “dientes” del filtro, más exacta puede ser la eliminación de componentes no deseados. A simple vista, esto parece una solución ideal, pero, sin embargo, no lo es. En primer lugar, este filtro exhibe el mismo tipo de comportamiento que el resto de los filtros fijos: si, en una frecuencia dada, se quita un ruido nocivo, también se elimina cualquier señal de audio que pueda existir en el mismo punto del espectro (Figura 8). En segundo lugar, la señal procesada con filtros *comb* adquiere un sonido característico que podría describirse como distante y poco definido. Además, este efecto es más intenso cuanto más precisos son los “dientes”, lo que implica que, al limitar los efectos secundarios causados por el primero de los problemas mencionados, se exagera el segundo. En tercer lugar, las frecuencias que componen el zumbido pueden no ser completamente fijas, lo que hace que los “dientes” del filtro no estén siempre correctamente posicionados, y esto provoca que

el zumbido aparezca y desaparezca durante la reproducción del material que se está restaurando.

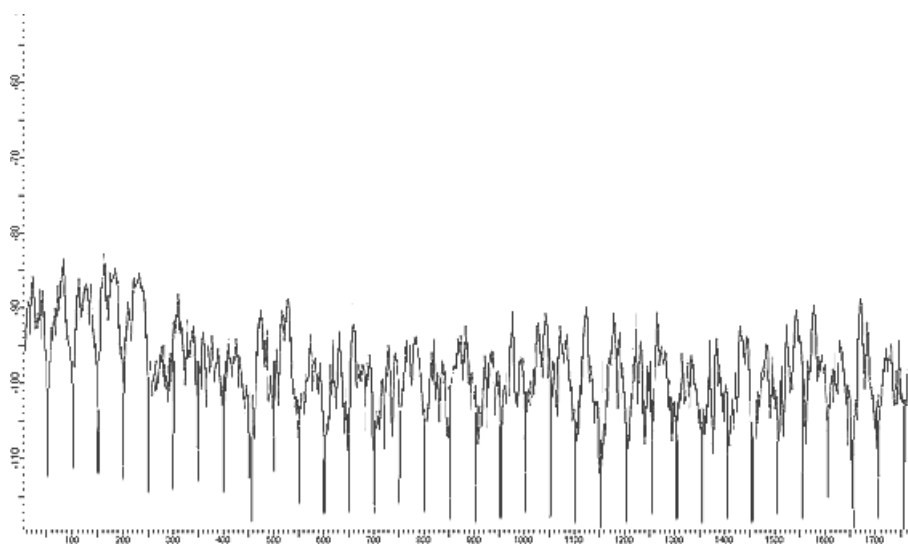


Fig. 8: Análisis espectral de una señal tratada con un filtro-comb

Estos problemas hacen que los filtros *comb* (los cuales son igualmente utilizados en varias plataformas de procesamiento de audio) sean inaceptables en sistemas de alta calidad de eliminación de zumbidos y *hum*. Una solución muy superior está dada por un algoritmo que identifique las frecuencia nocivas y las fluctuaciones que puedan experimentar y que, posteriormente, elimine el ruido sin destruir la señal subyacente. (Figura 9).

El procesador Debuzz de Cedar satisface exactamente estas necesidades; siguiendo las frecuencias del *buzz* dentro de un rango de $\pm 2\%$ y manteniendo los componentes genuinos de la señal al tiempo que quita cualquier armónico del zumbido que exista en la misma frecuencia.

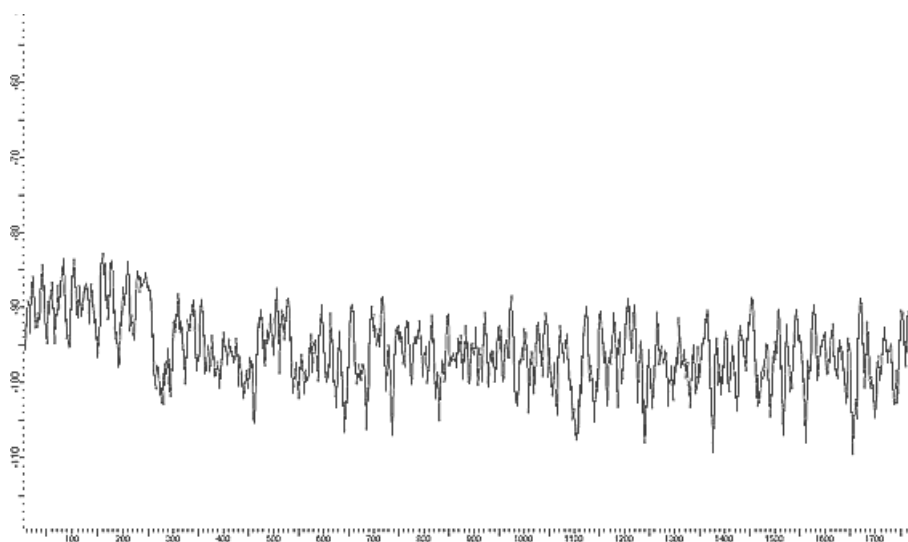


Fig. 9: Análisis espectral de una señal restaurada con el procesador CEDAR Debuzz.

Noise Removal

En un mundo perfecto no hay clicks, *crackle*, *pops*, *buzzes* o *hums*, y tampoco *hiss*; pero vivimos en un mundo imperfecto. Incluso hoy, los CDs son masterizados a través de etapas analógicas, y las grabaciones “históricas” están por definición re-masterizadas desde fuentes que sufren estas degradaciones. Lo que implica que los ingenieros de sonido siguen necesitando tecnologías que permitan quitar ruido de las grabaciones.

Será conveniente describir primero lo que se quiere decir cuando se habla de ruido “de banda ancha”, definiéndolo como un efecto que se agrega (o se resta), con amplitud aleatoria de forma continua en el tiempo, a todas las frecuencias dentro del espectro sonoro. Por esto, no se incluyen aquí artefactos de corta duración tales como los clicks o *crackle*, ambos eliminados mediante técnicas absolutamente diferentes a las que se describen a continuación.

Lo siguiente será disipar cualquier ilusión con respecto a los procesos denominados **dual-ended o de dos etapas** que codifican durante la grabación y luego decodifican durante reproducción. Éstos limitan en parte la acumulación de ruido adicional, agregado por las características de la grabación analógica, pero no hacen nada para quitar el ruido que una señal puede contener; simplemente restringen la cantidad de ruido que se agrega cuando la señal es grabada en cinta o reproducida nuevamente.

Un **proceso single-ended**, por el contrario, quita el ruido de la señal de audio antes de confiarlo a la cinta o, por lo menos, mejora la relación señal/ruido sin afectar el original en forma notoria. Esto lleva a considerar los **procesadores de amplitud**, “altamente eficaces” en la eliminación de ruido. Sin embargo estos no hacen nada para mejorar la relación S/N y tienen, además, un efecto secundario demasiado notorio: eliminan el ruido, pero también la señal.

Dado que el ruido de banda ancha se percibe más claramente en las frecuencias altas, el primer paso de nuestro recorrido evolutivo es el **filtro pasa-bajos**. Menos perjudicial que el control de volumen, éste quita la porción de la señal que queda sobre su frecuencia de corte. Sin embargo, para cualquier frecuencia dada, si se reduce la amplitud del ruido, por ejemplo en 6 dB, también se reduce la señal deseada en la misma cantidad. Así un filtro pasa-bajos puede limpiar discos antiguos de 78rpm (que tienen poco o nada de contenido de alta frecuencia) pero, incluso en este caso, esto tiene su costo.

Los **filtros dinámicos** son dispositivos en los cuales la frecuencia de corte se mueve dinámicamente según el contenido de la señal, quitando las frecuencias altas sólo cuando no hay señal presente y dejando pasar la señal cuando el ruido está enmascarado por componentes genuinos. Estos dispositivos son limitados por varias razones: en primer lugar, porque solamente quitan el ruido que existe sobre su frecuencia de corte. En segundo lugar, y al igual que los filtros simples, tienen *roll-offs* del orden de los -12 dB/octave o -6 dB/octave, por lo que permiten el paso de algunos componentes de alta frecuencia que deberían ser eliminados. Y en tercer lugar, aún cuando estos filtros están diseñados para un seguimiento rápido de la señal, no pueden evitar que los transientes del sonido sean afectados; opacando la señal genuina.

Ahora, en lugar de alterar la respuesta en frecuencia de la señal, ¿qué pasa si se cambia el nivel en alguna forma?

Hipótesis: el ruido tiene una amplitud relativamente constante y está siempre presente, por lo cual, si la amplitud de la señal de audio cae debajo del nivel de ruido, podemos asumir no hay señal genuina presente.

Aunque hay muchas fallas en esta argumentación, lo que hace es sugerir la utilización de un dispositivo que elimine un cierto nivel de ruido: un **Noise Gate**. Éste detecta cuándo la señal cae por debajo de un "umbral" (*threshold*) determinado por el usuario y la elimina completamente. Esta idea básica tiene en la práctica algunas mejoras (agregadas para limitar los efectos secundarios), pero el principio de funcionamiento es el mismo: si el nivel general de señal cae debajo del umbral, la puerta se cierra y elimina todo el ruido. Pero, cuando este dispositivo está "abierto", no separa ningún componente de ruido.

Un **Expansor** es otro dispositivo con un control del umbral, pero a diferencia del *noise gate*, éste aplica una reducción progresiva de la ganancia en una cantidad que es determinada por el usuario. Por ejemplo, si la señal cae 3dB debajo del umbral, el expansor puede reducir el volumen de la señal en 6dB, 12dB, o, en cualquier otro valor, dependiendo de la relación de expansión (*ratio*). Sin embargo, en la práctica, la diferencia subjetiva entre la puerta de ruido y el expansor es pequeña.

Un **expansor multi-banda** (*multi-band expander*) separa el espectro de audio en una determinada cantidad de bandas, tratando a cada una como si fuera una señal individual. Pero, igualmente, las unidades multi-banda siguen siendo incapaces de distinguir la señal genuina del ruido. Trabajan aún sobre una presunción inexacta, según la cual, si el nivel de la señal se acerca al umbral del ruido, lo único que está presente es el ruido. Por lo tanto, incluso los expansores más sofisticados quitan algo de señal genuina. Además, las restricciones de los filtros para separar en bandas (generalmente 6dB o 12 dB por octava) limitan bastante la performance de estos aparatos. Las consecuencias son la pérdida de frecuencias altas, la degradación en la percepción del espacio reverberante y la pérdida de transientes rápidos. Algunas unidades ofrecen una combinación de filtrado, expansión, e incluso compresión y excitación dinámicas, que agregadas para mitigar algunos de los efectos secundarios de los procesos de la reducción, son sólo parcialmente acertadas.

Todos los procesos descritos hasta ahora son operaciones que trabajan sobre un determinado "cociente": es decir, si en cualquier frecuencia dada se quita la mitad del ruido, también se elimina la mitad de la señal; si se quitan 3/4 del ruido, se quitan 3/4 de la señal, etc.

Ahora consideremos una señal que tenga, en una frecuencia dada, 100 unidades de "volumen" en una escala arbitraria. Al medir el contenido del ruido de esa señal durante un pasaje de silencio, puede determinarse que hay, por ejemplo, 20 unidades de ruido presentes en esa frecuencia. Debería ser posible quitar ese ruido eliminado el 20% de la señal. ¿Pero qué ocurre si, más adelante, el "volumen total" de señal cae a 40 unidades? Un filtro analógico, quitando el 20% de la señal, quitará 8 unidades. Por otra parte, un filtro de eliminación espectral (*sustractive filter*), realizable solamente en el dominio digital, continuará eliminando las 20 unidades completas: esto es una reducción del 50%. Que es lo que debería esperarse, porque el ruido en este momento representa el 50% de la señal.

Esta **substracción espectral** es útil cuando un proceso de DSP se utiliza para partir la señal en centenares de bandas, pudiendo entonces ser muy exactos sobre cuanto ruido se quita; eliminado una gran cantidad a, por ejemplo, 8kHz, mientras que se deja la banda de 8,1kHz virtualmente intacta.

Pero, si esto parece demasiado bueno para ser cierto; en realidad lo es. El contenido espectral del ruido (*fingerprint*) se puede medir si hay un instante de silencio dentro

de la señal, pero si esta huella digital no es exacta se escucharán efectos secundarios desagradables.

Supongamos que se ha obtenido una muestra digital perfecta del ruido, podría esperarse entonces una buena restauración, con pocos o ninguno de los efectos secundarios. Sin embargo, la experiencia demuestra que la substracción espectral produce resultados secos y opacos con artefactos inaceptables. Esto se debe, en parte, a que la muestra (fingerprint) es una "foto" del ruido, exacta solamente en el instante en el cual se tomó, ya que el ruido está cambiando constantemente. Esto provoca que el algoritmo de substracción espectral este derivando su resultado de datos inadecuados.

Muchas compañías e investigadores independientes han desarrollado mejoras para superar estas dificultades. Los desarrollos dentro de los algoritmos de substracción espectral de Cedar incorporan un proceso que actualiza la muestra de ruido cada 1.024 samples, siguiendo así las variaciones en el contenido espectral del ruido. Esto también previene la atenuación de los transientes de ataque y distingue entre el ruido y, por ejemplo, la reverberación de la señal auténtica. Existen otras características que ayudan a evitar muchos de los problemas de la substracción espectral simple que permiten quitar ruido sin dañar de forma indebida la señal.

Este algoritmo, sin embargo, requiere todavía de una interfaz de usuario compleja y no puede ser implementado en una unidad independiente. Eliminar el requisito de la necesidad de una muestra espectral del ruido, simplifica esta interfaz en gran medida, pero requiere un algoritmo capaz de determinar en forma autónoma el contenido de ruido de la señal. Lo cual lleva, finalmente, a los Cedar DH-2 y DHX; módulos independientes que analizarán por sí mismos el contenido de ruido de una señal y aplicarán la reducción del nivel de ruido con esfuerzo mínimo de parte del usuario.

Artículo publicado en el sitio de Internet de la empresa Cedar, en el área de información técnica.
<http://www.cedar-audio.com/technical/tecmenu.html>

Traducción Pablo Martínez.