

Mejoras de Cobertura en FM con el Modelo 2020 de Aphex

Por Donn Werrbach, Vicepresidente de Ingeniería, Aphex Systems, Ltd.

1. Prólogo

El Modelo 2020 FM Pro heredó el muy aclamado generador estereofónico PPDM patentado por Aphex y que desarrolló originalmente en 1992 para ser usado en su modelo 400 Digicoder, parte de su línea de productos Audiophile Air Chain. Como frecuentemente pasa con los usuarios de esta Cadena de Audiófilos del Aire, muchas radiodifusoras están informando de mejoras significativas de cobertura de su FM después de reemplazar su competitivo procesador de audio por un 2020. Nos piden a menudo que les expliquemos el porqué de esto. Por cierto, no es obvio cómo un procesador audio puede afectar la aparente degradación por trayectoria múltiple (multipath) sufrida por la recepción de radio.

2. Reseña Histórica

En 1993 Aphex introdujo el generador estereofónico de precisión modelo 400 Digicoder para formar el eslabón final de la Cadena de Audiófilos del Aire de Aphex. Antes del Digicoder, las radiodifusoras que usan una cadena de aire Aphex necesitaron adaptar un generador estéreo de otro fabricante y que sentíamos era una limitación al sistema. No quisimos producir un generador estereofónico de tecnología común solamente por tener uno propio, así que nos embarcamos en el ambicioso programa de desarrollar la nueva tecnología. Este programa condujo a la invención de la Modulación Digital de Trayectorias Paralelas (Parallel Path Digital Modulation - PPDM). Atestiguando su originalidad, la técnica de PPDM ha ganado la patente americana número 5,155,769 emitida el 13 de octubre de 1992.

3. Reporte de Inesperados Incrementos de Cobertura

Basado en mediciones de laboratorio y a pruebas de escucha supimos que teníamos un generador estereofónico de muy alta performance, pero sus reales prestaciones en el campo excedieron nuestras expectativas. Desde que la primera unidad fue entregada, recibimos informes sobre la reducida interferencia por trayectoria múltiple. Lo que esperamos eran comentarios favorables sobre la calidad del sonido, pero nunca anticipamos la bonificación del incremento del área de cobertura. Fuimos escépticos con los primeros informes sobre mejoras de la cobertura pero fue difícil descartarlos a medida que el número de informes continuó aumentando. Los dueños de estaciones estaban recibiendo llamadas de oyentes felices debido a que su señal era mas clara no sólo en áreas marginales sino incluso en áreas de señales fuertes donde había habido una molesta distorsión por trayectoria múltiple. De lugares tan diversos como los Filipinas, Australia, Suiza, los Estados Unidos, seguimos recibiendo la misma noticia: ¡Misteriosamente había mejorado su cobertura!

4. Se Da Una Explicación

El misterio no puede ser insoluble. Sabemos que el origen de los problemas de recepción en FM puede atribuirse a problemas en los tres elementos del medio de transmisión, a saber, al aparato de transmisión, a efectos de radio propagación y al aparato receptor. Una revisión a estos elementos sugiere una explicación de cómo el Digicoder y el 2020 mejoran la cobertura de la señal de FM de algunas estaciones de radio.

Para empezar, simplemente miremos el aparato receptor y asumamos que la transmisión y la propagación sean perfectas. Hay una variedad de dificultades de recepción atribuibles al receptor y a la antena de recepción. Ciertamente en áreas marginales, e incluso dentro de las áreas normales de cobertura de la FM, la señal es demasiado débil para llevar a un receptor de FM al silenciamiento completo. El silenciamiento ocurre cuando el amplificador de frecuencia intermedia del receptor (FI) está fuertemente saturado (o "limitando") y por consiguiente despojando completamente el ruido de AM que pudiera montarse sobre la portadora de FM. El silenciamiento completo es la condición deseable para una buena recepción de FM. Si el receptor no está silenciado, numerosas cosas pueden ir mal con el detector de FM. En receptores que usan detectores "Foster-Sealy" o de "Relación", cualquier ruido de AM que pase a través de las etapas de FI estará presente en el audio recuperado. Los receptores más sofisticados que usan detectores de "Conteo de Pulsos" o "PLL" pueden generar un ruido muy fuerte cuando el umbral de enganche sea modulado por el ruido de AM.

El ruido de AM puede recogerse de fuentes de ruido terrestres como los aparatos eléctricos, los motores, los sistemas de encendido de los automóviles, avisos de neón, receptores de TV, computadoras, etc. Estos ruidos normalmente se reproducen como un "zumbido" intermitente o "fritura" pero son independientes y no sensibles a la señal de audio de FM. El ruido terrestre en la banda VHF FM es relativamente débil y ésta es la principal razón de que la banda de VHF fuera asignada al servicio de radiodifusión por FM.

Existen otras dos causas de ruido de AM mucho más dañinas a la recepción de FM que la interferencia terrestre en AM. Éstos son la AM incidental y la recepción de trayectoria múltiple. La AM incidental es un producto directo de la portadora de FM cuando esta portadora atraviesa una trayectoria no lineal. Esto frecuentemente es el resultado de una antena receptora desadaptada. La recepción de trayectoria múltiple mezcla dos copias de la misma señal de FM que llegan juntas, pero desplazadas en el tiempo. Esto causa que la suma vectorial de las portadoras produzcan una componente de AM en una salida muy distorsionada de la modulación en FM. La AM incidental debida a la trayectoria no lineal sumada a la recepción de trayectoria múltiple producen más distorsión cuando está presente una subportadora estereofónica que cuando se trata de una simple señal monofónica de FM. Esto puede explicarse por un par de hechos. Primero, la subportadora ultrasónica modulada produce componentes de AM incidental en el rango de audiofrecuencia. Segundo, la presencia de la subportadora tiende a aumentar la anchura media ocupada por las bandas laterales de FM, incrementando las interferencias vectoriales de la trayectoria múltiple.

Una cantidad nominal de AM incidental puede ser suprimida por el receptor de FM si se tiene una señal entrante que no sea demasiado débil ni ruidosa. Esta es la razón por qué la simple antena de látigo de una radio portátil puede dar una recepción adecuada bajo condiciones de señal buena aunque realmente es casi no lineal a la portadora de FM. La distorsión por trayectoria múltiple es otro caso. La distorsión por trayectoria múltiple causa ruido de AM modulado tan profundamente que logra atravesar un amplificador de FI totalmente saturado y producir distorsión de audio incluso en áreas donde la recepción es más fuerte.

En áreas marginales, la AM incidental no será rechazada por el receptor de FM y la distorsión de audio resultante se parecerá típicamente a la distorsión por trayectoria múltiple. Bajo estas condiciones intentamos ajustar la antena receptora para la mejor recepción. La mayoría de las personas piensa que están orientando la antena para conseguir una señal más fuerte. Pero lo que están logrando finalmente, sin embargo, es generalmente una reducción de la AM incidental causada por la antena, o el rechazo del vector de interferencia por trayectoria múltiple, o ambos.

Los problemas de recepción de FM también son magnificados por la radiodifusión en estéreo debido a la aumentada susceptibilidad del receptor al ruido en el modo estereofónico. Un receptor de FM estereofónico tiene un ancho de banda de 53 kilohercios para admitir el ruido, contra sólo aproximadamente 15 kilohercios para el monofónico. A través del circuito del decodificador estereofónico, cuando se demodula todo el ruido de AM por encima de 19 KHz cae dentro de los 15 KHz del espectro de audio. Esto aumenta en alrededor de 11dB la intensidad del ruido. Segundo, una señal izquierda o derecha modula a la principal y las subportadoras sólo 45 por ciento cada una. Esto significa que las señales recuperadas, principal y subportadora, son 6.9dB más ruidosas que una señal monofónica. Cuando éstas son desmatrizadas, el ruido resultante neto es la suma RMS de los ruidos de los canales izquierdo y derecho que será 1.4 veces 6.9 ó 9.8dB. El ruido de recepción estéreo neto total es por consiguiente $9.8\text{dB} + 11\text{dB} = 20.8\text{dB}$ peor que en la recepción monofónica. Si el receptor está totalmente silenciado, el ruido estereofónico será suficientemente bajo en un buen receptor. Sin embargo, incluso los problemas de recepción más ligeros que produzcan ruido o distorsión serán exagerados por casi 21dB por un receptor estereofónico comparado con lo que se oiga en un receptor monofónico. Ese es el motivo por el que la mayoría de los sintonizadores estereofónicos tienen un conmutador a monofónico que le permite aplacar la suciedad de esa estación de FM.

Ahora, apartándonos del aparato receptor, veamos otros factores que causan mala recepción de señales de FM. Generalmente hemos asumido que esa mala recepción es una función de propagación a través del Éter y está por consiguiente fuera del control del radiodifusor. Esto no es necesariamente cierto. Una estación puede estar transmitiendo una portadora de FM con una cantidad significativa de AM incidental. Este tipo de transmisión producirá

resultados exactamente iguales a la distorsión por trayectoria múltiple en áreas marginales. Reduciendo o eliminando la AM incidental de la señal transmitida se consigue una mejora notable de la cobertura efectiva, incluso al grado de eliminar dificultades en áreas donde antes se creía que estaba plagada por la recepción de trayectoria múltiple.

Es ampliamente conocido que la AM incidental es causada por sistemas radiantes y transmisores sin optimizar. ¡Lo que no se ha comprendido ampliamente es que el sistema del procesamiento de audio puede causar problemas con la recepción! Hay varias maneras que esto pueda ocurrir. Una es por realimentación de la RF hacia el propio procesador de audio. Si el procesador no es totalmente inmune a Interferencias de Radio Frecuencia (RFI), puede experimentar ruido agregado y distorsión si se le opera cerca de un transmisor o excitador. El resultado puede ser productos espurios dentro y fuera de la banda de FM. Esto puede hacer que la recepción estereofónica sea especialmente sucia donde la AM incidental es un problema. El Aphex DigiCoder es inmune a la RFI a tal grado que elimina totalmente esta posibilidad.

Otra manera que los procesadores de audio causen mala recepción es generando una señal compuesta imperfecta hacia el transmisor. Cualquier ruido o suciedad de la subportadora estereofónica serán recuperados audiblemente por el receptor. Igualmente devastador, señales espurias que puedan estar presentes en el margen exterior del espectro multiplexado pueden exacerbar cualquier tendencia del transmisor o antena a generar AM incidental. Modulación de fase del Piloto o la subportadora puede causar que los receptores estereofónicos generen una grave distorsión. Si el piloto recibe suficiente AM, esto también causará que muchos receptores generen algo que parezca distorsión por trayectoria múltiple, incluso cuando la recepción sea fuerte.

Generalmente esperamos que cualquier procesador profesional de audio para radiodifusión esté libre de ese tipo de deficiencias, pero podríamos equivocarnos. Las normas legales para los equipos de transmisión estereofónica se adoptaron hace décadas. Aunque la tecnología ha mejorado considerablemente desde entonces, muchos de los equipos fabricados actualmente todavía se diseñan con estas viejas normas como referencia de desempeño. Desgraciadamente, muchos generadores estereofónicos y procesadores de audio en uso hoy se quedan cortos, lejos de la perfección, en lo que se refiere al rendimiento del multiplexor estereofónico.

La cantidad de AM incidental que es generada por la transmisión o la recepción depende en gran parte de cuánta modulación haya en la subportadora estereofónica en un momento dado. Esto significa que una señal estereofónica "amplia" sufrirá la peor distorsión por trayectoria múltiple que una señal estereofónica más estrecha. La distorsión de procesamiento también es responsable de muchos problemas de recepción en zonas marginales. Cuanta más distorsión esté presente en el audio, más basura auditiva se enterrará en la modulación de la subportadora. Esto causa finalmente una distorsión por trayectoria múltiple más sucia. La distorsión de procesamiento es endémica en la mayoría de los actuales procesadores de audio de FM. Las guerras de sonoridad nos han traído una generación de procesadores de audio que transan cantidades crecientes de distorsión por una ganancia adicional en la sonoridad. Muchos radiodifusores que padecen la paranoia de la sonoridad han substituido toda su calidad de audio por una pizca de mayor intensidad pero realmente han reducido su área de servicio eficaz.

¿Y qué del digital? La introducción de proceso digital sólo ha empeorado la situación ya que los residuos de suciedad debido al dominio digital son especialmente desagradables al oído. Los productos de distorsión digitales inevitablemente terminan como una aumentada distorsión por trayectoria múltiple. Ajustar un procesador digital para una sonoridad competitiva resulta en un sonido arenisco y en una empeorada recepción en zonas marginales. Con la tecnología actual y en el futuro previsible, el proceso analógico de señal aplaza todavía el paso a digital cuando se trata de producir un señal de alta calidad.

Además de la distorsión del procesamiento de audio, los multiplexores estereofónicos pueden contribuir significativamente a orlar la calidad de la recepción. Un generador estereofónico puede introducir problemas en la señal que no se presentan bajo las condiciones de laboratorio. Por ejemplo, la distorsión de banda base en el paso de la señal puede crear productos de distorsión en la región de la subportadora. También, los osciladores de enganche de fase (PLL) del piloto son propensos al "bamboleo" o a ser "jalados" por influencias en la tarjeta de circuito impreso

como corrientes de tierra de las señales audio. Los filtros de protección del piloto del generador estereofónico pueden proteger inadecuadamente la región de frecuencia del piloto y causar interferencia para la detección del piloto en los receptores de FM. Productos de distorsión creados por el propio generador estereofónico pueden incluso causar problemas similares. Una recepción estereofónica limpia depende de un enganche estable del piloto en el receptor, ya que cualquier inestabilidad del piloto hace que el decodificador demultiplexor del receptor produzca distorsión o ruido.

Con estos antecedentes, aquí mi opinión de cómo los 2020 FM Pro con su generador estereofónico PPDM y el procesamiento analógico limpio están mejorando realmente el área de cobertura de tantas estaciones de radio. Parece claro ciertamente que generar una transmisión estereofónica limpia y estable es la clave para aumentar al máximo la cobertura en FM y planteo que la calidad de la transmisión de muchas estaciones de radio esta siendo comprometida por sus variados procesadores de audio y generadores estéreo. No es que el 2020 haga algo mágico para mejorar la cobertura, es que la mayoría de los otros procesadores y generadores estéreo generan una salida suficientemente sucia como para degradar la calidad de la transmisión. Permítame puntualizar por qué el 2020 puede generar semejante rendimiento limpio comparado a otros procesadores.

Primero, el generador estereofónico PPDM crea una señal multiplexada casi perfecta con el piloto completamente estable y frecuencias de subportadora que permanecen enganchadas con "precisión numérica" digital. No hay lazos de enganche de fase que bamboleen. El piloto y las frecuencias de la subportadora se sintetizan con precisión directamente de las tablas de código digital del seno aseguradas en tiempo, que siempre retienen una fase exacta y la relación de frecuencias. La técnica patentada PPDM aparea la precisión de la modulación digital con las señales estereofónicas completamente analógicas para producir una salida multiplexada fenomenalmente limpia y estable de lejos superior a cualquier otro generador estereofónico existente.

Segundo, el 2020 está cuidadosamente filtrado para rechazar cualquier RFI que pudiera causar inestabilidades del proceso o distorsión y que pudieran pasar en la banda de frecuencias de la subportadora estereofónica. Esto también asegura un piso de ruido lo más bajo posible.

Tercero, los filtros de protección del piloto (pasabajo de 15KHz) del 2020 se ajustan cuidadosamente para proporcionar un rechazo fuertemente acentuado de señales no deseadas que interferirían con la recuperación del piloto en los receptores, incluso cuando la compensación de rebase (overshoot) estuviera activada. La compensación de rebase activa no introduce un nivel significativo de energía espuria dentro de la banda de frecuencias de la subportadora estereofónica. Esto permite un promedio de modulación alto y estable que mejora la relación señal a ruido de recepción.

Cuarto, los circuitos de audio del 2020 son verdaderamente de calidad de audiófilos que comprenden sólo componentes de calidad superior. De la proa a la popa, todos los algoritmos del proceso se diseñan no sólo para obtener la sonoridad deseada y la actuación sónica, sino también para una baja suciedad residual. El procesamiento analógico de señal es naturalmente mas limpio que el procesamiento digital del audio y con una especial atención al excelente diseño del circuito hemos levantado el arte significativamente, evidenciado por las once Patentes de Estados Unidos otorgadas para los circuitos de procesamiento usados en el Modelo 1100.

5. Resumen

Si usted espera la mejor cobertura posible en FM, entonces necesita empezar con la señal multiplexada estéreo lo más limpia posible en su cadena de aire. Por la evidencia mostrada queda claro que el Aphex Modelo 2020 FM Pro es significativamente el mejor en generar una salida de transmisión amistosa que los procesadores de audio de la competencia.