



## Interoperabilidad de señales FM multiplexadas compuestas en un STL, basado en IP

Junius Kim y Keyur Parikh

GatesAir  
Mason, Ohio

**Abstracto.** *La aparición de conexiones IP de gran ancho de banda habilita el transporte de señales de FM multiplex compuesto (MPX) en un enlace estudio-a-transmisor (STL). Cuando se hace la arquitectura de una topología de red STL, el transporte de señales MPX vs componentes en banda base de FM tiene sus ventajas en términos de distribución y control. Los dos métodos de interconexión MPX son digital y análogo. Cada uno presenta una relación de compromiso en términos de requerimientos de ancho de banda, calidad de señal, y compatibilidad. El MPX digital sobre AES ofrece la posibilidad de una cadena de procesamiento totalmente digital, mientras que el MPX análogo puede ofrecer una mayor flexibilidad y compatibilidad con equipamiento ya instalado. Con la reciente aparición del MPX digital, hay una necesidad de realizar un puente y de interoperabilidad entre el equipamiento más nuevo MPX digital y las plantas más viejas de FM con infraestructura MPX análoga. Nosotros revisamos varias topologías de STL MPX, examinamos donde se pueden localizar varios elementos, y cuáles son los requerimientos de red para un transporte de señal robusta. Se presentan casos de uso para ilustrar las diferencias entre STL MPX totalmente análoga, totalmente digital, e híbridos análogo/digital, y los compromisos que presentan con respecto a la compatibilidad y ancho de banda, escalabilidad, y retardo.*

### Antecedentes

En radiodifusión FM, la señal multiplexada MPX contiene múltiples componentes tales como el audio izquierdo más el derecho, el audio izquierdo menos el derecho, un tono de estéreo piloto de 19 KHz y una señal de data de sistema de radio (RDS). El audio izquierdo menos el derecho es modulado dentro de una subportadora en 38 kHz (enganchada con la 2da armónica del tono estéreo piloto). Los datos RDS están modulados digitalmente dentro de una subportadora de 57 kHz (enganchada con la tercera armónica del tono estéreo piloto) y usada para transportar metadata RDS de bajo bit rate (1187.5 bps). Se pueden generar los canales de autorización de la subsidiaria de telecomunicaciones (SCA), los cuales son modulados dentro de subportadoras más altas de 67 kHz y 92 kHz. Estos servicios son de bajo ancho de banda (menos de 8 kHz) y típicamente son servicios de audio. En el receptor, el tono piloto de estéreo es usado como referencia de tiempo para generar la subportadora de 38 kHz para el proceso de demodulación estéreo.

El espectro de frecuencias de la señal compuesta de MPX se muestra en la figura 1. El ancho de banda del espectro de frecuencias varía dependiendo de los componentes que lleva, pero como mínimo con RDS es 60 kHz y puede llegar a 99 kHz con dos canales de SCA.

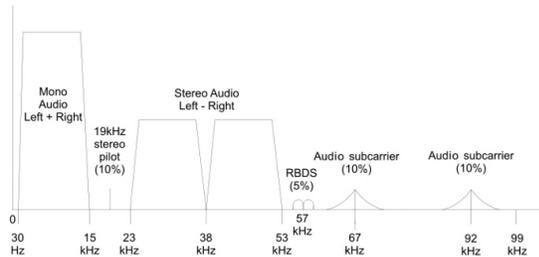


FIGURE 1 FM MPX FREQUENCY SPECTRUM

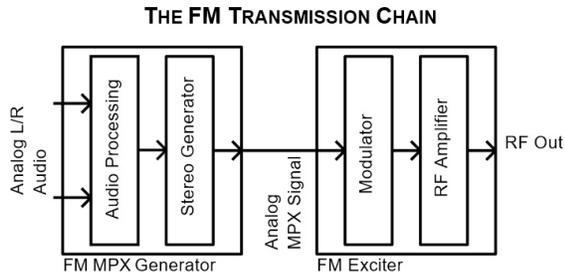


FIGURE 2 FM SIGNAL PROCESSING CHAIN

La figura 2 muestra una cadena de procesamiento común de FM. Los canales de audio se someten a procesamiento, el cual realiza funciones tales como limitación del overshooting, limitación de frecuencia (típicamente a menos de 15 kHz) y preénfasis. Después del procesamiento del audio, se realiza el proceso de codificación de generación estéreo MPX. Cualquiera de estos procesos se puede llevar a cabo en el dominio digital o análogo. La señal resultante MPX analógica en banda base alimenta a un excitador de FM.

Para reducir el procesamiento análogo, el proceso de generación estéreo se puede llevar a cabo enteramente en el dominio digital. Tal procesamiento digital MPX puede producir una representación de tiempo discreto de una señal MPX formateada para interconexión usando AES3 (También conocida como AES/ EBU). AES3 es un estándar de intercambio de información digital de audio y está bien establecido y bien soportado en la industria de broadcast. El AES3 encapsula dos muestras de 24 bits de

audio en dos sub frames de 32-bits. Los restantes 8 bits de cada sub frame son usados para metadata, control de paridad e información de sincronización. Los dos sub frames son combinados dentro de un frame de 64 bits. El MPX sobre AES es transportado en uno de los dos canales AES3, típicamente el canal izquierdo, con un sample and rate de 192 kHz. Debido a la frecuencia Nyquist, MPX sobre AES se limita en banda a aproximadamente menos que 80kHz, por lo cual no se soporta la subportadora de FM en 92kHz.

Para soportar todo el espectro compuesto de FM de 99 kHz necesario cuando se utiliza una subportadora de 92 kHz o un segundo canal SCA, el MPX sobre AES3 puede utilizar tanto el canal izquierdo como el derecho para implementar una frecuencia de sample and rate de 384 kHz. En este caso, las muestras se multiplexan entre los canales izquierdo y derecho en una disposición secuencial impar-par. Si el espectro compuesto muestreado a 394 kHz es menos de 96 kHz, entonces el canal izquierdo o derecho puede usarse sólo. En ese caso, son compatibles con el muestreo MPX de 192 kHz sobre AES. Si el espectro de 384 kHz de muestreo contiene energía de 96 a 99 kHz, se producirá aliasing en los canales izquierdo y derecho de 192 kHz entre 93 y 96 kHz.

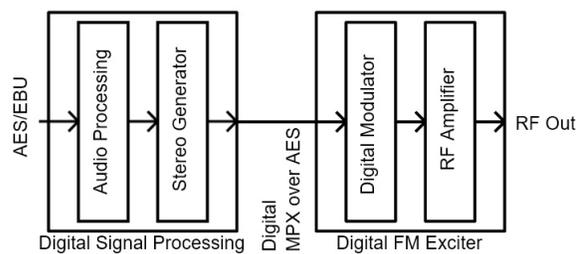


FIGURE 3 ALL DIGITAL FM SIGNAL PROCESSING CHAIN

La figura 3 muestra una cadena de procesamiento de FM totalmente digital con audio de banda base en el dominio digital

(AES3) que alimenta a un procesador de audio y MPX sobre AES que alimenta el excitador de FM. La señal MPX está en el dominio digital y contiene los componentes necesarios para la transmisión de FM. El MPX Digital ofrece alta inmunidad RFI, conexiones y distribución de señal más simples que el MPX analógico.

### STL MPX

Un enlace estudio - transmisor de FM (STL) usando telecomunicaciones digitales como T1/E1 o IP puede tener varias topologías, como se muestra en la figura 4. Una topología común es donde se transportan el audio izquierdo y derecho desde el estudio hasta el extremo transmisor remoto utilizando un codec de audio. La generación estéreo se realiza en el sitio del transmisor. Otra información de banda base de FM, como datos RDS y audio SCA, se puede transportar en el mismo codec de audio suponiendo que admite todas esas interfaces de datos adicionales. Otra posible topología STL es el transporte de la señal MPX analógica mediante un codec MPX. Este codec realiza la conversión analógica a digital (ADC) en el estudio y la conversión digital a analógica (DAC) en el transmisor.

La señal MPX sobre AES también se puede transportar en algunos codecs de audio. En este caso, el codec necesita soportar una frecuencia de muestreo de 192 kHz y transporta la información de forma transparente (sin conversión de frecuencia de muestreo ni compresión de audio).

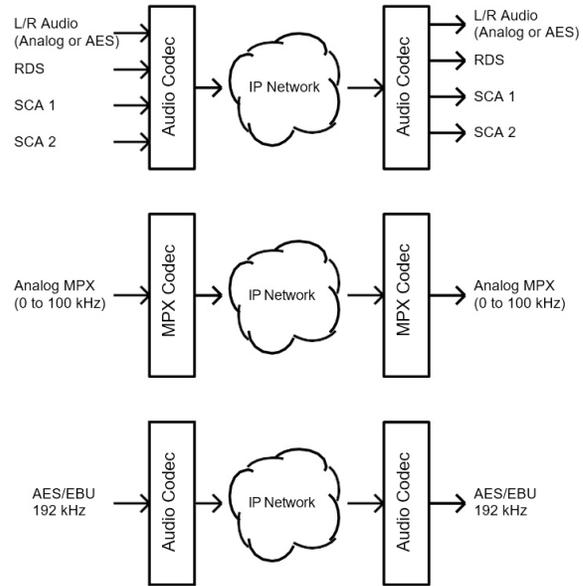


FIGURE 4 STL TOPOLOGIES

El transporte STL de MPX puede tener varias ventajas sobre el transporte de audio en banda base. El proceso de generación de MPX (generación de estéreo, RDS y modulación SCA) está centralizado y controlado en el sitio del estudio. En el caso de sitios de múltiples transmisores, la generación de MPX se realiza una vez en lugar de distribuirse a los sitios de transmisión. Con MPX sobre AES, se conserva una cadena de procesamiento digital completa sin necesidad de procesos analógicos adicionales.

La señal analógica MPX también se puede transportar con un codec. Tal codec puede soportar diferentes velocidades de muestreo y tamaños de palabras de muestreo (16, 20 y 24 bits). La velocidad de muestreo se puede ajustar para transportar el audio estéreo con RDS, o audio estéreo más RDS más uno o dos canales SCA. Este tipo de flexibilidad puede adaptar este codec a ajustarse mejor al ancho de banda de la conexión de red STL.

## MPX digital sobre STL

La señal digital MPX (MPX sobre AES) se puede transportar a través de un STL en modo transparente (Figura 5). En este método, el sistema STL realiza un transporte de la señal de extremo a extremo, bit por bit, sin alteraciones. Sólo es necesario transportar la palabra de muestra del canal izquierdo AES3 de 24 bits a través del STL. Otros datos de AES3, como la paridad, la sincronización y los metadatos, se pueden regenerar en el lado del transmisor para ahorrar ancho de banda. Un canal de 192 kHz, con palabras de 24 bits tiene una velocidad de datos de 4.608 Mb/s.

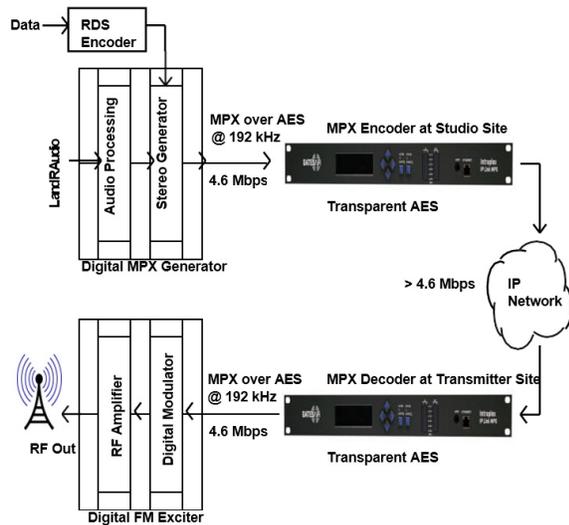


FIGURE 5 DIGITAL MPX STL USING TRANSPARENT TRANSPORT

Para reducir los requerimientos de la red de banda ancha para el transporte STL de MPX sobre AES, se pueden usar técnicas tales como la conversión de la tasa de muestreo y la reducción del tamaño de la palabra. La conversión de frecuencia de muestreo es el proceso de señal digital de cambiar la velocidad de muestreo de un proceso de señal de tiempo discreto para obtener una nueva representación discreta de la señal continua subyacente.

La señal AES muestreada de 192 kHz puede incorporar una señal MPX de hasta 96 kHz. A menudo la señal MPX no contiene información hasta esa frecuencia. Por ejemplo, si la señal MPX contiene audio estéreo y RDS solamente, entonces la frecuencia contenida es hasta 60 kHz. Si la señal MPX contiene además de este un único canal SCA (subportadora a 67 kHz), entonces su contenido de frecuencia es de hasta 75 kHz. En estos casos, la señal AES3 puede ser convertida a un sample and rate más bajo, tal como 132 kHz (audio estéreo más RDS) o 162 kHz (subportadora a 67 kHz) sin pérdida de información. Los convertidores de frecuencia de muestra modernos y de última generación tienen un rendimiento excelente. Con muestras de 24-bits, el THD y el rango dinámico pueden ser mayores de 125 db con un retardo de grupo casi constante y una respuesta característica de amplitud versus frecuencia cercana a la medida Nyquist. Utilizando conversión de frecuencia de muestreo en un STL, la señal AES sobre MPX puede ser reducida en frecuencia de muestreo en el sitio del estudio y luego la frecuencia de muestreo se convierte de nuevo a 192 kHz en el sitio del transmisor. La figura 6 muestra este proceso en un sistema STL.

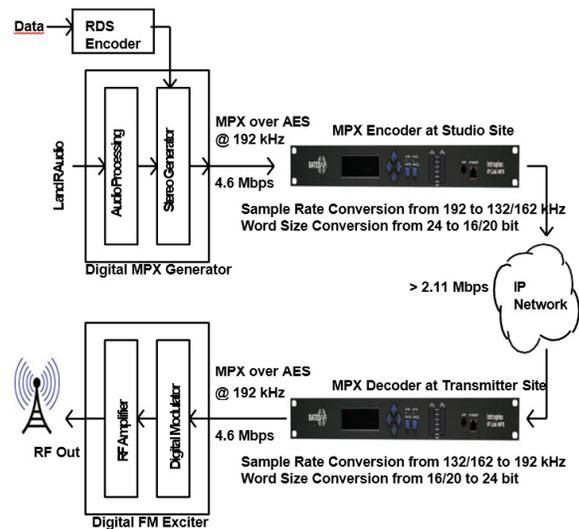


FIGURE 6 DIGITAL MPX STL WITH REDUCED BANDWIDTH

Otro efecto útil de la conversión de frecuencia de muestreo es cuando la reducción de muestreo es filtrada en frecuencia durante el proceso de decimación. Cuando se utiliza MPX de 384 kHz sobre muestreo AES, la energía compuesta de FM de 96 a 99 kHz hace aliasing con los 192 kHz de los canales izquierdo y derecho desde 93 a 96 kHz. Si los 192 kHz del canal izquierdo y derecho se reducen por debajo del muestreo de 186 kHz, entonces la energía de aliasing será efectivamente removida- una propiedad útil cuando hay interoperación entre AES de 384 KHz y 192 kHz sobre sistemas MPX.

AES3 define un tamaño de palabra de 24-bit. El rango dinámico máximo teórico alcanzable para una representación digital de una señal analoga usando cuantización uniforme es de 6dB por bit. Así la cuantización de 24-bit puede proveer 144 dB de rango dinámico. Como una cuestión práctica, este rango dinámico es más que el que puede efectivamente ser generado por el generador estéreo de FM o utilizado por un excitador de FM. En la mayoría de los casos, la medida de la palabra puede ser reducida a 16-bit sin ninguna pérdida de la calidad. Con el muestreo de 16 -bit, el rango dinámico es aún un robusto 96 db. Más allá de esto, una reducción adicional en el tamaño de la palabra es posible con alguna compensación en calidad. Algunos códecs MPX comerciales han codificado tamaños de palabras tan bajos como 12-bit. Estos códigos de palabras más pequeños pueden permitir a un codec MPX mantener la banda ancha de red debajo de los 1.984 Mb/s lo cual es un requerimiento para un tipo de transmisión de telecomunicaciones E1. Cada vez que se necesite una reducción de la palabra, debe usarse el redondeo en las dos muestras de complemento PCM, de otra

manera resultará una compensación de  $\frac{1}{2}$  bit DC.

Usando conversión de frecuencia de muestreo y reducción de tamaño de la palabra, se puede reducir considerablemente el ancho de banda de la red AES sobre MPX STL. Usando un muestreo de 132kHz y una conversión de palabra de 16-bit el ancho de banda de la carga útil de la red es 2.11 Mb/s contra 4.6 Mb/s para AES3 de modo transparente.

### **Puente MPX**

El análogo MPX es compatible con la mayoría de las infraestructuras de plantas de FM existentes, mientras que el MXP digital (MPX sobre AES) es un estándar de operación relativamente nuevo introducido en 2013 y que requiere la adquisición de equipamiento compatible. Para interoperabilidad entre los dos, la señal MPX puede combinarse desde análogo a digital o desde digital hacia análogo. Esto es útil cuando se interopera entre equipamiento de FM mas viejo que no soportan MPX digital y equipamiento mas nuevo que si lo hace. Por ejemplo, un generador de FM estereo en el estudio puede interoperar con un un exciter nuevo a través del dispositivo puente. Del mismo modo, un generador estereo de FM nuevo puede interoperar con un exciter de FM viejo a través de un dispositivo puente MPX. El dispositivo hibrido se ubica entre los dominios de operación análogo y digital. El puente puede ser un dispositivo entre equipamiento co-localizado de FM o la función de puente puede darse en un STL cuando esta integrada en el codec. En el último caso, el codec MPX tanto en el sitio de estudio y transmisión deben soportar interfaces duales MPX análogas y digitales. La figura 7 muestra un puente STL MPX entre un

generador MPX estereo digital y un excitador FM análogo. La figura 8 muestra el puente STL MPX entre un generador estereo MPX análogo y un exciter de FM digital.

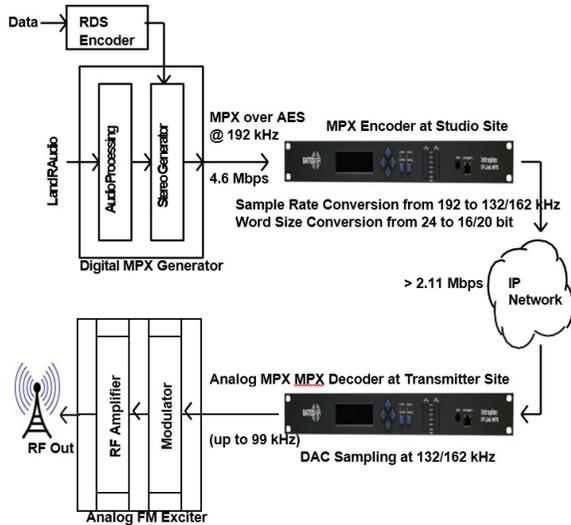


FIGURE 7 MPX STL BRIDGING BETWEEN DIGITAL AND ANALOG

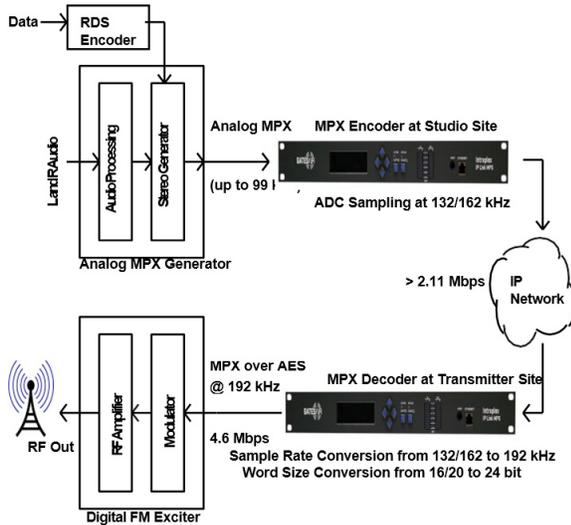


FIGURE 8 MPX STL BRIDGING BETWEEN ANALOG AND DIGITAL

### Multicast de RF de frecuencia única

La transmisión simultánea de RF de una sola frecuencia utiliza múltiples transmisores de RF dispersados geográficamente que funcionan en la misma frecuencia de portadora, modulado el mismo material de programa. Mediante el uso de transmisores

múltiples, se amplía el área geográfica de cobertura de RF. La región donde un receptor de RF puede captar señales múltiples alimentadas desde múltiples transmisores es la región de solapamiento. En una aplicación de radiodifusión de audio, un receptor de RF en esta región simultáneamente demodulara la programación de audio realizada en múltiples portadores de RF. En esta región, la fase de modulación de los múltiples transmisores debe estar estrechamente alineada para proporcionar la mejor calidad de recepción.

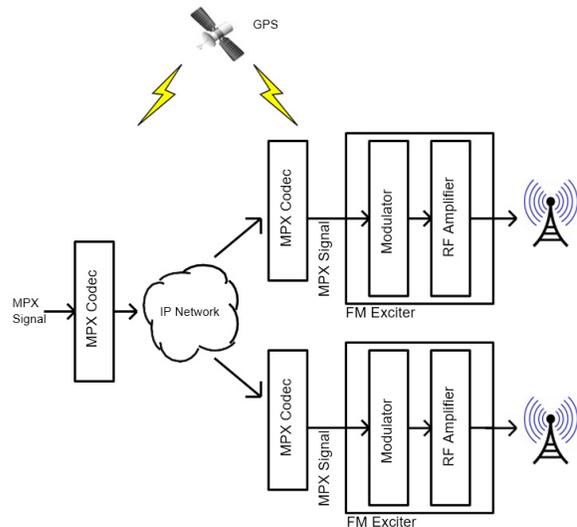


FIGURE 9 FM SIMULCAST SYSTEM

El transporte de MPX vs audio en banda base sobre STL puede ofrecer ventajas cuando se despliega un sistema de transmisión simultánea de RF (figura 9). En un escenario de transporte de audio STL en banda, el proceso de audio codec realiza un retraso de precisión único para cada uno de los diversos lugares de transmisión, de forma tal que cada generador de estereo FM presente el audio "en fase" con respecto a todos los otros generadores de FM en el sistema de transmisión simultánea. Sin embargo, otros componentes de la subportadora MPX (RDS y SCA) puede que no sufran el mismo retraso

de precisión, resultando en una transmisión RF fuera de fase para estos componentes. En un escenario de transporte MPX STL, todo el MPX puede sufrir un proceso de retraso de precisión, de forma tal que todos los componentes estén en fase entre si.

Cuando se usa transporte transparente AES sobre un STL se debe hacer una consideración en la compatibilidad del tiempo. En el modo transparente, la velocidad del reloj de datos se conserva en todo el proceso de codificación y de decodificación. Para que el proceso de retardo de precisión funcione correctamente, el reloj de datos debe venir de una fuente global, tal como un GPS. En la mayoría de los casos, el transporte transparente es innecesario, y el transporte AES puede ser remarcado en tiempo usando la conversión de frecuencia de muestreo en cuyo caso el GPS puede servir como la fuente reloj de reprogramación de tiempo.

### **MPX STL, consideraciones de la red**

Los requerimientos de ancho de banda de red WAN para transportar señales MPX varían en base a la frecuencia de muestreo y tamaño de palabra. MPX sobre AES tiene un promedio de data rate de 4.602 Mb/s si la información adicional AES3 tal como sincronización, metadata, paridad, etc., no es transportada. Esta señal contiene audio estéreo, RDS, y un canal SCA. Esta velocidad de datos puede ser reducida cuando se baja el muestreo de 192kHz a una menor tasa de muestreo usando conversión de frecuencia de muestreo. Se puede lograr una mayor reducción de la velocidad de datos, reduciendo el tamaño de la palabra de 24-bit a 20 o 16-bits.

Sample Rate, kHz	Sample Size, bits	Bandwidth, kb/s
132	16	2112
132	24	3168
162	16	2592
162	24	3888
192	16	3072
192	24	4608
216	16	3456
216	24	5184

TABLE 1 MPX DATA RATES

El transporte de una señal MPX tiene flexibilidad en la tasa de datos de carga útil debido a las opciones configurables para la frecuencia de muestreo y para el tamaño de palabra de muestra. La selección de la frecuencia de muestreo se realiza en función de los servicios necesarios para ser transportados a lo largo de la WAN. Por ejemplo, un muestreo de 132 kHz puede llevar audio estéreo y datos RDS, el muestreo de 162 KHz puede cargar un canal adicional SCA, y el muestreo de 216 kHz puede cargar el espectro completo de 99 kHz MPX.

El tamaño de palabra de muestreo define la resolución y rango dinámico mínimos de la señal. En la mayoría de los casos 16-bit puede ser usado y tiene buena actuación con 96 dB de rango dinámico. Los tamaños de muestreo de más alta resolución como 20 a 24 bits también pueden ser usados. Dependiendo de la tasa de muestreo y el tamaño de la carga útil esto variará. La tabla 1, provee un resumen de algunas posibles combinaciones.

El uso de IP basado en WAN en aplicación broadcast está proliferando rápidamente. Las redes basadas en IP proveen ventajas tanto en reducción de costos operacionales como en la flexibilidad para la interconexión de sitio a sitio. El transporte paquetizado de la señal de MPX agrega una sobrecarga adicional para los encabezados de los paquetes, así como el retraso asociado con el

proceso de paquetización. El proceso de paquetización necesita acumular muestras en un buffer de paquetes antes de la transmisión. Un número más alto de muestreo en un paquete resulta en una menor sobrecarga, menor tasa de paquetes y mayor retraso asociado con la paquetización. A la inversa, el número más bajo de muestreo por paquete se traduce en una tasa más alta de paquetes, mayor sobrecarga y menor retraso.

La sobrecarga en un paquete está asociada con el encabezado del paquete. El Protocolo de Tiempo Real (RTP) sobre UDP es el método de encapsulado más común para transportar media en tiempo real. RTP provee tanto marcación de tiempo como secuencia numérica para detectar paquetes duplicados y reordenar paquetes con problemas. La sobrecarga asociada con los encabezados RTP/UDP, cuando estos se transportaron sobre redes IPv4 es de 40 bytes por paquete. Tomando el primer paquete sobrecargado en cuenta, la figura 10 muestra la red IP de banda ancha requerida para muchas opciones de transporte MPX, basados en el intervalo de paquete (1 y 3 ms), tasa de muestreo (128 a 216 kbps) y tamaño de muestreo (16 a 23 bit). Para la opción más eficiente de banda ancha, la medida del paquete debería estar por debajo de la Unidad de Transmisión Máxima (MTU) de la red, para Ethernet esto es 1500 bytes.

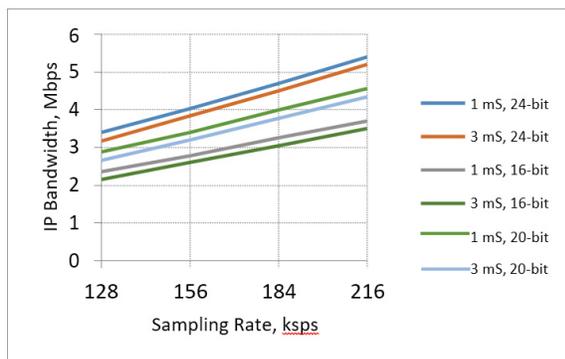


FIGURE 10 IP BANDWIDTH VS SAMPLING RATE

Existe una compensación entre el retraso y la eficiencia de ancho de banda, mientras se mantiene el tamaño del paquete en menos que el MTU de la ruta de la red, para evitar la fragmentación. La fragmentación de paquetes IP puede causar retrasos adicionales para reensamblar y atravesar dispositivos de traducción de direcciones de red (NAT). En resumen, lo que se quiere es tener paquetes de intervalos altos sin causar fragmentación IP. Esto asegurará la eficacia del ancho de banda y reducirá las tasas de paquetes, lo cual ayuda a evitar la congestión de las intersecciones de la red.

### Desafíos con transporte IP

La IP basada en WAN presenta varios desafíos tales como la pérdida de paquetes, la inestabilidad, pérdida de conexión a la red, etc. Un flujo MPX requiere ancho de banda WAN constante. Esto contrasta con el uso de compresión de audio con pérdidas (AAC, MPEG) en cuyo caso el codificado puede ajustar dinámicamente la tasa de bits en función del estado de congestión de la conexión WAN. La pérdida de paquetes puede también tener un efecto mayor sobre una señal MPX que con audio. Por ejemplo, con audio comprimido, técnicas de conciliación pueden funcionar efectivamente. El codec de audio mantiene una medición continua de la imagen espectral del audio. El codec ya tiene una transformación de tiempo hacia dominio de frecuencia, como parte de su función de codificación perceptual. Cuando una pérdida de paquete es detectada, se puede crear un reemplazo sintético utilizando los valores espectrales en los paquetes anteriores y subsiguientes (3). Un flujo de MPX es un método de envío PCM sin pérdida, por lo que no se computa información espectral. Un paquete MPX perdido da como resultado

datos constantes para ese intervalo de paquete. Así que cuando se transporta MPX sobre IP, es recomendable suscribirse a una conexión de proveedor de servicios de Internet administrado (ISP) que garantice el ancho de banda y mantenga la pérdida de paquete a un mínimo. La variación del retraso de paquete (PDV) o jitter es una preocupación menor en la conexión administrada porque se puede mitigar ajustando el tamaño del búfer de jitter de recepción en el decodificador. Este ajuste puede ser manual o el sistema puede medir el jitter en forma dinámica y adaptar el buffer al tamaño apropiado.

### **Pérdida de paquete y mitigación en la pérdida de paquete**

Incluso cuando se suscribe a una conexión de ISP administrada, puede haber pérdida de paquetes durante ciertos tiempos que deben ser tratados. Además, debido a la complejidad de las redes IP, las conexiones son más susceptibles de fallas en sus caminos en forma completas, cuando se compara con la conexión TI heredada. Las pérdidas de paquetes se pueden reducir usando una o más combinaciones de estas técnicas de recuperación: corrección de errores directos a nivel RTP (FEC) y/o flujos redundantes. Ambas técnicas están diseñadas para funcionar en modos de transporte de paquetes únicas (punto a punto) y multicast (punto a multipunto).

#### *FEC a nivel RTP*

El FEC a nivel RTP usa el concepto de paquetes de paridad para recobrar paquetes perdidos en el receptor. Usa una matriz de paquetes de datos RTP para generar los paquetes FEC. Los paquetes FEC son creados usando XOR de filas

y columnas de paquetes de data, para un FEC 2-dimensional. Estos paquetes FEC son luego enviados junto con los paquetes de data sobre la red al receptor. La relación del número de paquetes de paridad a paquetes de datos es la sobrecarga de ancho de banda del esquema de FEC. Por ejemplo, en el esquema arriba se generan 8 paquetes de paridad para 16 paquetes de datos, por lo tanto, requiere 50% de ancho de banda adicional para la transmisión. Además, el receptor necesita almacenar la cantidad de paquetes suficientes en función del tamaño de la matriz para recuperar efectivamente los paquetes perdidos, por lo que también hay un retraso adicional asociado con la recuperación de pérdida de paquetes basada en FEC.

Los esquemas de FEC han demostrado ser extremadamente efectivos para pérdidas de paquetes aleatorios, sin embargo, si las pérdidas de paquetes ocurren en tamaño de ráfaga y es mayor que el número de columnas en la matriz de FEC, la efectividad del esquema de FEC comienza a deteriorarse.

	Col 1	Col 2	Col 3	Col 4	F(x)
Row 1	1	2	3	4	XOR(1,2,3,4)
Row 2	5	6	7	8	XOR(5,6,7,8)
Row 3	9	10	11	12	XOR(9,10,11,12)
Row 4	13	14	15	16	XOR(13,14,15,16)
F(x)	XOR(1,5,9,13)	XOR(2,6,10,14)	XOR(3,7,11,15)	XOR(4,8,12,16)	

TABLE 2 4x4 TWO-DIMENSIONAL FEC MATRIX

#### *Flujos redundantes*

La transmisión redundante es otra técnica que se puede usar para la protección de pérdida de paquetes. En este esquema, los paquetes duplicados se envían a través de rutas

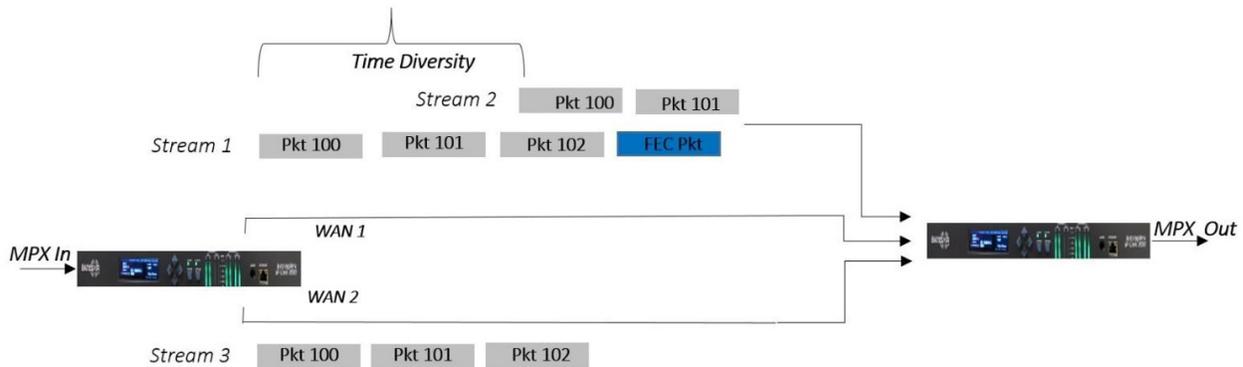


FIGURE 11 COMBINATION OF DIVERSITY AND FEC PROTECTION

independientes de red (diversidad de red) o sobre la misma red, usando diversidad de tiempo como se muestra en la figura 11. Con diversidad de tiempo, los paquetes duplicados se envían con un retraso programable entre ellos. Ambas técnicas son efectivas para pérdidas de paquetes en ráfagas. Sin embargo la técnica de diversidad de red ha demostrado que ofrece el mejor resultado, siempre que las rutas sean verdaderamente independientes. Esta técnica también proporciona protección “sin hit” contra la falla completa de una sola ruta. Un punto importante para entender con diversidad de red es que las rutas de red independientes tienen diferentes retardos y características de fluctuación que pueden ser variables en el tiempo y por lo tanto la implementación debe garantizar que el buffer de recepción siempre se adapte al tamaño óptimo para tener en cuenta el mayor retraso en las rutas de red. Al determinar la protección de pérdida de paquetes para una red única, la elección entre FEC, diversidad de tiempo o combinación de los dos esquemas debería basarse en el análisis de los patrones de pérdida de paquetes. Por supuesto, todas estas técnicas de protección suponen que el usuario tiene un adecuado ancho de banda de red y conexiones adecuadas junto con las capacidades de protección de red incluidas en el codec MPX.

## Resumen

La aparición de conexiones de red IP de gran ancho de banda permite el transporte de la señal compuesta de FM MPX en un STL. En el diseño de una topología de red STL, el transporte de una señal MPX frente a componentes FM de banda base tiene ventajas en términos de distribución y control centralizado y es capaz de realizar eficazmente la transmisión simultánea por RF de RDS y SCA.

Dos métodos de interconexión MPX son digitales y analógico. Digital MPX sobre AES ofrece la posibilidad de una cadena de procesamiento totalmente digital con alta inmunidad RFI y distribución de señal más simple, mientras que si es analógica el MPX analógico mantiene la compatibilidad con el equipo heredado existente. El transporte de la señal digital MPX a través de un STL se puede realizar de forma transparente o con conversión de frecuencia de muestreo y reducción del tamaño de muestra para reducir el requerimiento de ancho de banda de red. La frecuencia de muestreo se puede seleccionar para admitir las subportadoras de FM necesarias para la transmisión. La interoperabilidad entre MPX analógica y digital es posible con un dispositivo puente híbrido que se interconecta entre los dos dominios, Esto es útil cuando se interopera

entre equipos FM más antiguos que no admiten MPX digital y equipos de FM más nuevos, que si lo hacen.

Las degradaciones de la red IP, como la pérdida de paquetes y la inestabilidad deben abordarse para que se realice una transmisión MPX robusta. Pueden usarse técnicas como el almacenamiento en memoria intermedia de la fluctuación de fase, FEC, y la diversidad de tiempo y de red con transmisión redundante. Estas técnicas, si se aplican de forma sistemática e inteligente, pueden mejorar en gran medida el rendimiento de la transmisión MPX a través de redes IP deterioradas.

## Referencias

- [1] Kim, Junius, “ RF Simulcasting over IP Networks”, NSB Conference, 2009
- [2] Parikh, Keyur and Kim, Junius, “Method por Mitigating IP Network Packet Loss in Real Time Audio Streaming Applications”, NAB Conference, 2014
- [3] Chueca, Steve and Pizzi, Skip, “Audio over IP”, ISBN 978-0-240-81244-1, 2009

## Información de los autores

**Junius Kim** es un ingeniero de hardware de GatesAir en Mason, Ohio, Mr Kim fue una clave importante para el equipo de diseño de GatesAir, responsable de crear el simulador Synchro Cast, sistema de transmisión simultánea y el enlace de IP, una próxima generación de codec AoIP. Sus intereses incluyen la arquitectura y el diseño de paquetes robustos. Mr Kim tiene un BS y MD en ingeniería eléctrica.

**Keyur Parikh** es un arquitecto y team líder de R&D con GatesAir en Masón, Ohio. Mr Parikh tiene alrededor de 26 años de

experiencia en diseño y desarrollo de sistemas de comunicaciones para varias aplicaciones. Mr Parikh ha sido un miembro clave del equipo para el producto GatesAir Intraplex desde 2005 y es responsable de crear productos de redes para la industria de seguridad pública y de emisión. Anterior a esto fue líder en los productos de VoIP y las tecnologías de mobile data, Mr Parikh tiene un BS en ingeniería eléctrica con un máster en comunicación.

