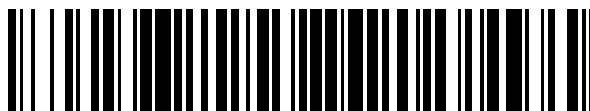


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 758 532**

51 Int. Cl.:

H04L 1/00 (2006.01)

H04B 1/00 (2006.01)

H04B 7/155 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.02.2015 PCT/US2015/014287**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.09.2015 WO15130434**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.02.2015 E 15705755 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.10.2019 EP 3111577**

54 Título: **Sistema de transporte de radiofrecuencia por paquetes**

30 Prioridad:

27.02.2014 US 201461945652 P
08.10.2014 US 201414509710

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
05.05.2020

73 Titular/es:

KRATOS INTEGRAL HOLDINGS, LLC. (100.0%)
10680 Treena Street, 6th Floor
San Diego, CA 92131 , US

72 Inventor/es:

ASIANO, WILLIAM T.;
HEATH, DOUGLAS J.;
SULLIVAN, DANIEL J.;
MELESKI, JOHN J.;
ORNDORFF, TIMOTHY JAMES y
GENRICH, THAD JAY

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

ES 2 758 532 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Sistema de transporte de radiofrecuencia por paquetes

ANTECEDENTES

5

Campo de la invención

La presente invención se refiere al transporte de señales y, más específicamente, al transporte de señales de radiofrecuencia.

10

Antecedentes

Para responder al aumento del tráfico de Internet, los operadores de red han implantado de manera generalizada fibras ópticas y equipos de transmisión óptica, lo que aumenta sustancialmente la capacidad de las redes troncales.

15

También se necesita un aumento correspondiente en la capacidad de la red de acceso para satisfacer la creciente demanda de ancho de banda de los usuarios finales, incluido el vídeo de protocolo de Internet (IP), vídeo, datos de alta velocidad y paquetes de voz. Incluso con soluciones de banda ancha, como la línea de abonado digital (DSL) y el módem de cable, el ancho de banda limitado que ofrecen las actuales redes de acceso presenta un cuello de botella en el suministro de grandes anchos de banda a los usuarios finales.

20

En la publicación de PEDRO MOREIRA ET AL: «Distribución de señales de RF en una red Ethernet», SIMPOSIO DE CONTROL DE FRECUENCIA (FCS), 2012 IEEE INTERNATIONAL, IEEE, 21 de mayo de 2012 (2012-05-21), se divulga un sistema en el que una señal de RF recibida se muestrea, codifica y transporta a través de Ethernet. En el receptor, se decodifica la señal de Ethernet y se convierte en una señal de salida de RF.

25

RESUMEN

La presente invención permite el transporte determinista y fiel del espectro de RF multibanda a través de una red digital que minimiza el ancho de banda de la red tal como se define en la reivindicación 1.

30

En una implementación, se divulga un dispositivo de red espectral. El dispositivo incluye: al menos uno de entre un transmisor y un receptor; el transmisor incluye: un muestreador descendente configurado para realizar conversiones de datos de mensajes entre dominios analógicos y digitales y extraer al menos un canal de menor ancho de banda a partir de un canal de mayor ancho de banda; un codificador de paquetes configurado para implementar y gestionar al menos un canal espectral y encapsular los datos del mensaje; y el receptor incluye: un decodificador de paquetes configurado para implementar y gestionar al menos un canal espectral y reconstituir los datos del mensaje; un muestreador ascendente configurado para realizar conversiones de los datos del mensaje entre dominios digitales y analógicos e insertar el al menos un canal de menor ancho de banda en el canal de mayor ancho de banda.

35

40

En otra implementación, se describe un aparato. El aparato incluye unos medios para transportar un espectro de RF multibanda a través de una red digital que incluyen: medios para convertir la señal de radiofrecuencia en paquetes de protocolo de Internet, medios para consignar la fecha y la hora y conservar la temporización para la señal de radiofrecuencia convertida, y medios para transportar la señal de radiofrecuencia utilizando un estándar de transporte de radio.

45

Otras características y ventajas de la presente invención resultarán más evidentes para los expertos en la técnica tras consultar la siguiente descripción detallada y los dibujos adjuntos.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

50

La FIG. 1 es un diagrama de bloques funcional de un sistema de red espectral (por ejemplo, SpectralNet™) configurado para transportar de manera «determinista y fiel» el espectro de RF multibanda a través de una red digital según una realización de la presente divulgación.

55

La FIG. 2 muestra un enlace satelital descendente que incluye un canal espectral que trabaja con un grupo de cuatro señales de comunicación de banda estrecha y un segundo canal que comprende una única portadora de banda ancha.

La FIG. 3 muestra los mensajes entrantes organizados en N grupos de M mensajes para cada grupo.

La FIG. 4 muestra el mecanismo de conmutación por error automática a nivel de aparato según una realización de la presente descripción.

5 La FIG. 5 muestra la capacidad de un dispositivo de red espectral (DRE) para llevar a cabo un cálculo del desfase temporal y un control de latencia de precisión, junto con su capacidad para cambiar rápidamente entre fuentes de datos, lo que permite que el sistema de comunicación implemente una diversidad de emplazamientos sin interrupciones.

10 La FIG. 6A muestra un sistema en el que un productor de contenidos necesita enviar datos a múltiples telepuertos para llegar a todos los clientes.

La FIG. 6B muestra un sistema en el que se utilizan dispositivos de red espectral para reducir la necesidad de costosos equipos del telepuerto central y la logística/dotación correspondiente en las estaciones terrenas.

15 La FIG. 7A muestra la configuración convencional de una estación terrestre remota.

La FIG. 7B muestra una estación terrestre remota simplificada en comunicación con un centro de operaciones de la misión configurado con dispositivos de red espectral según una realización de la presente descripción.

20 La FIG. 8 muestra múltiples centros de operaciones de la misión y múltiples estaciones terrestres remotas que se comunican a través de la WAN utilizando dispositivos de red espectral.

La FIG. 9 muestra un sistema de red de datos en el que los datos procedentes de una estación terrestre se encaminan
25 hacia otra estación terrestre mediante rebotes de satélite.

La FIG. 10 es una arquitectura satelital terrestre que incluye dos elementos principales: un centro de datos de productos básicos y emplazamientos remotos de antenas en red.

30 La FIG. 11 muestra una instalación de análisis de tierra en comunicación con una estación de tierra a través de la WAN.

La FIG. 12 es un diagrama de bloques funcional de un sistema de transporte de señal dinámica inteligente (IDynSTS) diseñado para capturar con precisión las señales de radiofrecuencia (RF) recibidas, como, por ejemplo, señales de
35 comunicación, y transportarlas de manera eficiente a través de redes digitales como Ethernet.

La FIG. 13 muestra los pasos involucrados en la implementación de la FFT de transmisión mediante superposición-guardado.

40 La FIG. 14 muestra un ejemplo de una función de reconstrucción de señales.

La FIG. 15 es un diagrama de bloques funcional de un muestreador descendente.

La FIG. 16 es un diagrama de bloques funcional de un muestreador ascendente.

45 La FIG. 17 es un diagrama de bloques funcional de un generador de relación de enteros.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

50 Como se describió anteriormente, el ancho de banda limitado ofrecido por las actuales redes de acceso presenta un cuello de botella en el suministro de un gran ancho de banda a los usuarios finales. En consecuencia, lo que se necesita es una manera de proporcionar el diseño y la implementación de un mecanismo de transporte que sea determinista en el tiempo y que conserve con precisión todas las características de la señal para enviar un espectro de RF multibanda a través de una red digital.

55 Ciertas implementaciones descritas en la presente memoria permiten el transporte determinista y fiel de un espectro de RF multibanda a través de una red digital que minimiza el ancho de banda de la red. Después de leer esta descripción, se hará evidente cómo implementar la invención en varias implementaciones y aplicaciones. Aunque se describirán varias implementaciones de la presente invención en el presente documento, se entiende que estas
60 implementaciones se presentan solo a modo de ejemplo, y no de limitación. Como tal, esta descripción detallada de varias implementaciones no debe interpretarse como una limitación del alcance o la amplitud de la presente invención.

En una realización del presente documento, se describe un sistema de red espectral que es determinista en el tiempo y retiene con precisión todas las características de la señal para enviar un espectro de RF multibanda a través de una red digital. El sistema de red espectral conecta el mundo de la radiofrecuencia (RF) directamente con el mundo del protocolo de Internet (IP) mediante: (1) Conversión digital: paquetes de FI a IP, (2) marca temporal de alta fidelidad y conservación de la temporización de la señal, y (3) baja latencia determinista en toda la red. El sistema de red espectral traslada datos con garantías como: (1) transporte a través de formatos de datos de comando del VITA-49 del American National Standards Institute (ANSI) o el Estándar Especial de Difusión de Datos (SDDS); (2) hace que la poco fiable WAN actúe como un «cable largo»; (3) es agnóstico en cuanto al tipo de modulación, codificación, encuadre, cifrado, TRANSEC y banda de RF; (4) la conmutación por error automática con múltiples dispositivos proporciona datos continuos; y (5) conmutación ininterrumpida de flujos de datos entre diferentes antenas y equipos de módem para soportar la diversidad de antenas y emplazamientos de procesamiento, al tiempo que se evita la pérdida de datos. El sistema de red espectral también admite el procesamiento tanto analógico como digital, como por ejemplo: (1) conversión de IP a analógica para módems heredados o análisis de espectro; (2) alimenta módems digitales o de software sin conversión analógica; y (3) permite la división/recombinación/traslado del espectro entre diferentes fuentes, destinos y frecuencias.

Los conceptos clave del sistema de red espectral incluyen: (1) transporte de señales analógicas de RF o FI digitalizadas a través de Ethernet o redes ópticas síncronas (SONET)/redes de jerarquía digital síncrona (SDH); (2) latencia programable constante de extremo a extremo que supera la variación de retardos de la red; (3) canales espectrales bidireccionales para seleccionar algún segmento del espectro de RF (los muestreadores descendentes reducen el ancho de banda, mientras que los muestreadores ascendentes aumentan el ancho de banda); (4) empaquetado de datos analógicos digitalizados en formatos estándar de la industria (por ejemplo, ANSI VITA-49 o SDDS); (5) transporte fiable a través de redes deterioradas (p. ej., corrección de errores sin canal de retorno de paquetes (PFEC), UDP fiable (protocolo inteligente fiable - IRP) y diversidad de red); (6) conmutación por error automática entre un conjunto de dispositivos para asegurar el flujo de datos; y (7) conmutación ininterrumpida de señales entre múltiples fuentes/sumideros que permite cambios de flujo de datos analógicos sin pérdida de datos en la red.

La necesidad de PFEC incluye: (1) las redes IP pierden datos de un paquete entero a la vez; (2) las técnicas tradicionales de corrección de errores sin canal de retorno basadas en bits (por ejemplo, Reed-Solomon) son ineficaces cuando se aplican a la carga útil de un paquete IP (por ejemplo, no pueden reparar la larga «ráfaga» de bits perdidos cuando se pierde el paquete); (3) algunos protocolos IP utilizan la retransmisión para reparar paquetes perdidos (es decir, TCP emplea acuses de recibo positivo y negativo para detectar la pérdida de paquetes; PGM (multidifusión general pragmática) emplea un acuse de recibo negativo); y (4) la retransmisión no es suficiente para transferir datos críticos de la misión a través de redes IP WAN con características subóptimas (p. ej., alta latencia, pérdida frecuente de paquetes o ancho de banda restringido). Sin embargo, las implicaciones de la retransmisión incluyen: (1) los datos críticos de la misión requieren una latencia determinista y un flujo continuo de datos (y sin errores en los bits); (2) en redes con pérdidas y alta latencia, el ciclo NAK/reparación es impredecible; (3) el almacenamiento en búfer aumenta enormemente para acomodar el ciclo NAK/reparación menos favorable; (4) la gran pérdida de paquetes da lugar a muchos intentos de reparación e implosión de NAK; y (5) incluso una pérdida mínima de paquetes puede desencadenar la implosión de NAK si opera cerca de la capacidad máxima. La corrección de errores sin canal de retorno basada en paquetes (P-FEC) permite un flujo de datos continuo, determinista y sin pérdidas a través de redes extremadamente deterioradas. Por ejemplo, (1) no se requiere retransmisión; (2) resulta ideal para redes con pérdidas y alta latencia; (3) utiliza un esquema simple y rápido para agregar la protección de datos; (4) es capaz de alcanzar tasas multigigabit; (5) está diseñada para utilizarla con procedimientos de entrega multidifusión o UDP punto a punto; (6) los parámetros de configuración permiten sintonizar la P-FEC para superar las deficiencias de la red al tiempo que minimizan la sobrecarga y la latencia requeridas; (7) está diseñada para superar las pérdidas por ráfagas o paquetes individuales; (8) la P-FEC se está utilizando en la actualidad para apoyar programas nacionales de importancia crucial; y (9) la P-FEC ha sido probada operativamente para permitir la transmisión sin pérdida de datos a través de un enlace con un 1% de pérdida de paquetes.

La FIG. 1 es un diagrama de bloques funcional de un sistema de red espectral 100 (por ejemplo, SpectralNet™) configurado para transportar de manera «determinista y fiel» el espectro de RF multibanda a través de una red digital según una realización de la presente memoria. El sistema de red espectral 100 está diseñado para transportar el espectro de RF a través de redes digitales como Ethernet o SONET/SDH, que son protocolos estandarizados que transfieren múltiples flujos de bits digitales de manera síncrona a través de fibra óptica utilizando láseres o luz altamente coherente de diodos emisores de luz (LED).

En la realización ilustrada en la FIG. 1, el sistema 100 incluye una antena de enlace descendente 102, un puerto espectral de enlace descendente 104, una fuente de canal espectral 136, un muestreador descendente 110, una unidad de codificación de paquetes y de protección frente a errores sin canal de retorno 130, una unidad de decodificación de paquetes y de protección frente a errores sin canal de retorno 140, un muestreador ascendente 120,

un sumidero de canal espectral 146, un puerto espectral de enlace ascendente 106 y una antena de enlace ascendente 108. La antena de enlace descendente 102 recibe y transmite un espectro de RF de entrada al puerto espectral de enlace descendente. La antena de enlace ascendente 108 recibe un espectro de RF de salida y transmite la señal.

- 5 Un puerto espectral es una forma analógica de ranura de frecuencia en el espectro de RF durante un período de tiempo. Los términos utilizados con el puerto espectral incluyen intervalo de frecuencias, frecuencia central, ancho de banda máximo, dirección (enlace ascendente o entrada, frente a enlace descendente o salida), tiempo de inicio/parada, nivel de potencia, impedancia, estilo de conector e identificador. En un ejemplo, el espectro de RF procesado por el sistema de red espectral 100 incluye ondas de radio que abarcan desde la VHF (30 MHz) hasta la
- 10 banda Ka (40 GHz) utilizada para transportar información. Por ejemplo, las bandas VHF, L, S, C, Ku y Ka son las más populares para las comunicaciones por satélite (SATCOM) y telemetría, seguimiento y control (TT&C).

Los canales espectrales 132, 142 son representaciones digitalizadas de un segmento del espectro de RF caracterizado principalmente por una frecuencia central y un ancho de banda. Por lo tanto, los canales espectrales 132, 142 están

15 configurados para constituir un transporte "determinista y fiel" de un espectro de RF multibanda a través de una red digital que minimiza el ancho de banda de la red. Al proporcionar una retransmisión de espectro de RF en tiempo real a través de cables de red terrestres, el sistema de red espectral 100 ofrece opciones para distribuir funciones de procesamiento a través de cualquier red que contenga equipos tanto digitales como de espectro de RF. Por ejemplo, el sistema de red espectral 100 crea la posibilidad de reubicar y/o reducir de manera sustancial (por ejemplo, mediante

20 virtualización) la mayoría de los instrumentos analógicos utilizados para comunicaciones satelitales, aéreas o a través de otras plataformas aeroespaciales. La capacidad del sistema de red espectral para conservar la temporización de forma precisa a través de redes IP no deterministas también permite el cambio rápido e ininterrumpido entre antena y módem, lo que mejora el rendimiento de la diversidad de emplazamientos y permite el uso de equipos terminales de menor coste.

25 Un dispositivo de red espectral 150 consiste en una ruta entre la fuente del canal espectral 136 y el sumidero del canal espectral 146 utilizada para transportar el espectro digitalizado. Por ejemplo, una fuente de canal espectral puede alimentar 0, 1 o N circuitos, pero un sumidero de canal espectral solo puede aceptar datos de 0 o 1 circuitos.

30 Un canal espectral (por ejemplo, 132, 142) puede subdividirse en canales más pequeños. Por ejemplo, un muestreador descendente 110 extrae un canal de ancho de banda más pequeño de un canal de ancho de banda más grande. Un muestreador ascendente 120 inserta un canal de ancho de banda más pequeño en un canal de ancho de banda más grande. El muestreador descendente 110 y el muestreador ascendente 120 están configurados para la conversión entre los dominios analógico y digital.

35 El sistema 100 también incluye un codificador de paquetes 130 y un decodificador de paquetes 140 para implementar y gestionar una serie de canales espectrales 132, 142 mediante técnicas de corrección de errores sin canal de retorno basada en paquetes (P-FEC), y para la encapsulación/desencapsulación 134, 144 de los datos (por ejemplo, empleando los formatos de mensaje ANSI VITA-49 o SDDS). A continuación se describen estos elementos

40 detalladamente.

Función de digitalizador y muestreador descendente

Como se muestra en la FIG. 1, el espectro de RF ingresa en el sistema de red espectral 100 a través del puerto

45 espectral de enlace descendente 104 y constituye la forma analógica de un segmento de frecuencia en el espectro de RF que está presente durante un período de tiempo. Como se indican anteriormente, las características de un puerto espectral incluyen intervalo de frecuencias, frecuencia central, ancho de banda máximo, dirección (enlace ascendente o entrada, frente a enlace descendente o salida), tiempo de inicio/parada, nivel de potencia, impedancia, estilo de conector y un identificador. El muestreador ascendente 110 crea un cierto número de canales espectrales que capturan

50 solo una parte del ancho de banda total del puerto espectral del enlace descendente.

La FIG. 2 muestra un enlace descendente satelital 200 que incluye un canal espectral 210 que trabaja con un grupo de cuatro señales de comunicación de banda estrecha y un segundo canal 212 que comprende una única portadora de banda ancha. La frecuencia central y el ancho de banda de cada canal espectral se pueden ajustar para permitir

55 una coincidencia precisa del ancho de banda digitalizado con la portadora o grupo de portadoras para minimizar el ancho de banda de red requerido. En este ejemplo, no hay un usuario actual para la portadora intermedia 220, por lo que en lugar de transportar todo el ancho de banda del transpondedor, se ahorra un ancho de banda considerable de la red transportando únicamente los dos segmentos de espectro de interés 210/212.

60 Encapsulación de mensajes y codificador de paquetes

El codificador de paquetes 130 (véase la figura 1) empaqueta las salidas del canal espectral en uno de dos formatos.

- Las muestras cartesianas complejas (es decir, componentes en fase, o I, y cuadratura, o Q) creadas por un canal espectral se pueden formatear utilizando el estándar de transporte de radio ANSI/VITA-49 (VRT) o el SDDS. Cuando se utilizan paquetes de datos de frecuencia intermedia (FI) VRT, las muestras I y Q utilizan el procedimiento de «enlace eficiente», donde las muestras se insertan en la carga útil con bits no utilizados entre ellas, para minimizar el ancho de banda de la red. Cada muestra es un número en coma fija con signo, pero el número de bits por muestra se puede ajustar en función de la relación señal/ruido requerida por el equipo de procesamiento en el destino remoto. El coste del transporte de la red puede minimizarse reduciendo el número de bits por muestra, ya que así se produce una reducción correspondiente en el ancho de banda de la red. Los metadatos que describen la configuración y el estado del canal espectral se transmiten en paquetes con contexto de FI VRT e incluyen una marca de tiempo, frecuencia central, ancho de banda, frecuencia de muestreo, formato de carga útil de datos (incluidos bits/muestra), nivel de referencia del convertidor de analógico a digital (dBm), ganancia y frecuencia central de RF. Por lo general, los paquetes con contexto de FI se envían únicamente cuando los metadatos cambian para minimizar el ancho de banda de la red. Por el contrario, el formato SDDS transmite muestras y metadatos en el mismo mensaje.
- 15 El codificador de paquetes 130 agrega una corrección de errores sin canal de retorno al flujo de información mediante la organización de los datos en grupos de paridad intercalada, como se muestra en la FIG. 3. La FIG. 3 muestra los mensajes entrantes organizados en N grupos de M mensajes para cada grupo. El codificador de paquetes 130 genera un bloque de paridad para cada grupo (una fila en la figura 3) aplicando el OR exclusivo al conjunto de todos los mensajes para una fila particular. Al intercalar los mensajes, el flujo puede experimentar pérdidas de N paquetes de red contiguos y aún así producir datos sin errores en el destino. La ventaja de usar la P-FEC frente a otros protocolos fiables como TCP, PGM o NORM es la eliminación de cualquier tráfico del canal de retorno relacionado con acuses de recibo o solicitudes de reparación. Esta característica no solo lo hace ideal para redes simplex, sino que reduce la latencia de extremo a extremo, ya que los datos no se retienen mientras se esperan paquetes de reparación. Los paquetes de paridad agregan una sobrecarga al flujo de información (1/M) pero M es configurable y se puede ajustar para cumplir con las asignaciones de ancho de banda de la red.

Los mensajes originales y los paquetes de paridad se transmiten después a través del puerto de red apropiado a una red de área local (LAN) o red de área amplia (WAN). Los puertos de red se pueden configurar como conexiones Ethernet de 1 Gb/10 Gb o SONET/SDH. Cada canal espectral se empareja con un puerto de red en función de la capacidad de la conexión de red y el destino previsto. La FIG. 1 muestra el dispositivo de red espectral 150 como destino, pero solo lo es cuando el equipo de procesamiento en el destino cuenta con interfaces de señal analógica. Sin embargo, los paquetes de red pueden enviarse directamente a un módem con una entrada de red o a un módem de software que se ejecute en servidores genéricos blade o en rack.

35 Decodificador de paquetes y desencapsulación de mensajes

El decodificador de paquetes 140 reconstituye o desencapsula los mensajes originales recibidos en el puerto de red utilizando el paquete de paridad para cada grupo con el fin de crear un paquete que falta en ese grupo. Si se pierde más de un mensaje dentro del grupo, los mensajes que faltan no se pueden restaurar y en su lugar se envía el paquete de paridad para mantener la temporización del paquete. La corrección de paquetes contribuye con un máximo de $M \times N$ paquetes de retardo a la latencia de extremo a extremo para esperar a que lleguen los paquetes de paridad. Sin embargo, suele ser una contribución pequeña en comparación con los retardos de la LAN/WAN, ya que las velocidades de los paquetes son altas cuando se transportan señales analógicas muestreadas. Los flujos de información en tiempo real mediante protocolos que requieren la transmisión de paquetes de reparación experimentan al menos el tiempo de ida y vuelta (RTT) para su latencia de extremo a extremo, mientras que la P-FEC solo tardará la mitad del RTT más el pequeño retardo $M \times N$.

Los mensajes VRT o SDDS que salen del proceso de P-FEC se desmontan en la segunda etapa del decodificador de paquetes. Los metadatos (p. ej., frecuencia central, ancho de banda, frecuencia de muestreo, bits/muestra, etc.) se utilizan para permitir que el canal espectral de enlace ascendente coincida con la fuente. Las muestras I/Q se eliminan del mensaje VRT o SDDS y se introducen en el canal espectral a la misma velocidad en que fueron generadas por la fuente.

55 Muestreador ascendente y reconstrucción de señales

El canal espectral en el lado del enlace ascendente opera de manera sustancialmente similar al muestreador descendente, pero a la inversa. Todos los canales espectrales se pueden configurar para que actúen como un muestreador descendente o un muestreador ascendente, ya que hay casos en que el número de enlaces descendentes con los que trabaja un dispositivo de red espectral no es el mismo que el número de enlaces ascendentes en el mismo dispositivo. Cada muestreador ascendente 120 crea un cierto número de canales espectrales que capturan solo una parte del ancho de banda total del puerto espectral de enlace ascendente 106. A las señales muestreadas de manera ascendente se les puede asignar una frecuencia central diferente de la que tenían

cuando llegaron a la fuente antes de la conversión al dominio analógico. Este mecanismo proporciona una forma flexible de asignar señales de comunicación a transpondedores específicos.

La FIG. 2 muestra un grupo de cuatro portadoras 210 en el enlace descendente 200 del Satélite A desplazadas 240 a una frecuencia central más alta en el enlace ascendente 230 del Satélite B. Las señales muestreadas también se pueden replicar y convertir al dominio analógico como copias múltiples. Esto proporciona un mecanismo para transmitir el espectro a múltiples fuentes o duplicar porciones del espectro de una manera selectiva pero estratégica.

Las salidas de todos los canales espectrales se suman y se convierten al dominio analógico y se envían a través del puerto espectral del enlace ascendente 106. El puerto del enlace ascendente 106 comparte las mismas características que el puerto del enlace descendente 104 (es decir, intervalo de frecuencias, frecuencia central, ancho de banda máximo, tiempo de inicio/parada, nivel de potencia, impedancia, estilo de conector y un identificador) y envía la señal analógica a convertidores ascendentes de antena, módems con entradas analógicas o equipos de simulación y prueba para la generación o monitorización de señales.

15 Control de latencia

Los operadores de sistemas satelitales deben tener en cuenta los tiempos de tránsito del enlace espacio-tierra y tierra-espacio, que deben ser deterministas y típicamente bajos (menos de un segundo). Las operaciones de medición satelital de distancias exigen que los retardos se mantengan constantes con un margen de unos pocos nanosegundos. Los esquemas de Acceso Múltiple por División de Tiempo (TMDA) necesitan retardos muy bajos en el equipo terrestre, ya que el tiempo de ida y vuelta a través del satélite se aproxima ya al medio segundo. Los operadores de los sistemas asignan una parte del presupuesto total de temporización a cada segmento del enlace (por ejemplo, modulador, convertidor ascendente, propagación en espacio libre, demodulador, transporte, procesamiento, etc.). Las redes no generan el mismo retardo para cada paquete, lo que da lugar a una fluctuación del tiempo de llegada (o TOA). Las redes SONET/SDH tienen una fluctuación de TOA mucho más baja en comparación con las redes Ethernet, pero ninguna de ellas tiene una fluctuación de TOA lo suficientemente baja como para transportar RF en paquetes. Los dispositivos de red espectral proporcionan una latencia de extremo a extremo fija y configurable para superar la fluctuación de TOA en la red. La contribución al retardo debida al dispositivo de red espectral fuente o sumidero es un pequeño porcentaje del retardo total. Cada dispositivo requiere referencias globales de frecuencia y tiempo para cumplir con las exigencias de latencia de los sistemas satelitales. La referencia de frecuencia global (típicamente una onda sinusoidal de 10 MHz de un receptor GPS) garantiza que todos los convertidores de analógico a digital, los convertidores de digital a analógico y los canales espectrales funcionen a las mismas velocidades de muestreo. Las marcas temporales del tiempo de creación (TOC) incluidas en los paquetes VRT o SDDS se obtienen a partir de la referencia de tiempo global en el dispositivo fuente. El dispositivo de destino compara cada marca temporal de TOC con su hora actual, que está subordinada a la referencia de tiempo global, y solo entrega los datos al canal espectral cuando se alcanza el objetivo de latencia de extremo a extremo. El retardo a través del canal espectral y los dispositivos de conversión es fijo y conocido a priori.

40 Conmutación por error automática

La función de conmutación por error automática integrada en cada dispositivo de red espectral 150 puede proporcionar cifras de fiabilidad que se aproximan a los «cinco nueves». En informática, una conmutación por error consiste en cambiar a un servidor, sistema, componente de hardware o red redundante o en espera en caso de fallo o terminación anormal de la aplicación, servidor, sistema, componente de hardware o red previamente activo.

La FIG. 4 muestra el mecanismo de conmutación por error automática a nivel de aparato 400 según una realización de la presente descripción. En la realización ilustrada en la FIG. 4, el mecanismo de conmutación por error automática 400 incluye un divisor pasivo 410, Fuentes A 420 y B 422, Sumideros A 430 y B 432, y un combinador pasivo 440. El divisor pasivo 410 está configurado para recibir una señal de fuente de RF, dividir pasivamente la señal de RF y suministrar las señales a la Fuente A 420 y la Fuente B 422. En el destino, hay dos dispositivos sumidero, el Sumidero A 430 y el Sumidero B 432, pero solo uno de ellos conduce una señal hacia el combinador pasivo 440 para producir una señal de sumidero de RF. Aunque los dispositivos fuente y sumidero funcionan a las mismas velocidades de reloj, la pequeña diferencia de fase entre las unidades crearía interferencias no deseadas entre símbolos si se sumaran las señales analógicas reconstruidas. La función de conmutación por error automática puede funcionar con o sin diversidad en la red.

Los tiempos de conmutación por error más rápidos se producen cuando se utiliza diversidad en la red. En este modo, la Fuente A 420 suministra un flujo de red al Sumidero A 430 y, al mismo tiempo, la Fuente B 422 suministra su flujo de red al Sumidero B 432. Los dos sumideros 430, 432 se comunican a través de la conexión de red local entre pares para decidir quién actuará como unidad primaria (no silenciada). La unidad de respaldo continúa procesando el flujo de red entrante pero silencia su salida analógica para que no interfiera con la señal de salida de la unidad primaria. La

unidad de respaldo monitoriza constantemente la unidad primaria para asegurarse de que esté viva y que aún reciba un flujo de red. Si la unidad de respaldo no recibe una respuesta de la unidad primaria después de varios intentos o la unidad primaria comunica a la unidad de respaldo que ya no está recibiendo un flujo de red, entonces la unidad de respaldo desempeña el papel de unidad primaria y deja de silenciar su salida analógica. La conmutación por error se puede lograr muy rápidamente (es decir, < 1 ms), ya que la decisión no se ve afectada por los retardos de la red. Este método requiere que existan dos copias de los datos de RF digitalizados en la red durante todo el tiempo. Los requisitos de ancho de banda de la red pueden reducirse a la mitad a costa de un aumento de los tiempos de conmutación, dejando de utilizar la diversidad en la red.

- 10 Cuando la función de conmutación por error automática funciona sin diversidad de red, solo uno de los dos caminos que se muestran en la FIG. 4 estará activo en cada momento. Los dos sumideros 430, 432 mantienen la misma conversación que cuando se usaba la diversidad de red, pero ahora las dos fuentes 420, 422 tienen una conversación similar. Utilizan su conexión entre pares para decidir quién desempeña el papel de unidad primaria, ya que solo la unidad primaria puede enviar datos a la red. De este modo, hay un mensaje adicional de cada sumidero 430, 432 a su respectiva fuente 420, 422 informándole de su presencia. Por ejemplo, suponiendo que la Fuente A 420 está actuando actualmente como unidad primaria, pero ya no recibe mensajes del Sumidero A 430, la Fuente A informa a la Fuente B 422 para que asuma el papel de unidad primaria. La conmutación por error tarda más en este modo, ya que se tardará al menos la mitad del RTT (o tiempo de ida y vuelta) de la red antes de que el Sumidero B 432 pueda comenzar a generar una señal de RF.

20 La función de conmutación por error automática a nivel de aparato se puede resumir de la siguiente manera: (1) Los dispositivos se comunican con pares locales y remotos para decidir quién envía y recibe datos; (2) la señal de RF de entrada se divide y se envía a ambos dispositivos del lado de la fuente (los dispositivos fuente no son síncronos entre sí en lo que respecta al muestreo); (3) solo un dispositivo del lado del sumidero genera una señal de FI (los dispositivos sumidero no son síncronos entre sí en lo que respecta al muestreo); y (4) pequeña pérdida de datos (< 1 ms) cuando se produce la conmutación por error.

Cambio de diversidad sin interrupciones

- 30 El procesamiento de la conmutación por error automática también se mejora para proporcionar un cambio de datos sin interrupciones entre diversas rutas. Esta capacidad permite que la información del canal espectral que fluye entre un módem y una antena, por ejemplo, se cambie a una antena diferente sin pérdida de datos en el enlace, incluso cuando las longitudes de ruta entre el módem y las dos antenas son diferentes. Esto se logra mediante una función de correlación adaptativa dentro del procesamiento del canal espectral. La función de correlación adaptativa calcula una estimación de la diferencia de retardo de ruta entre los dos emplazamientos mediante la correlación cruzada de las señales de los dos canales espectrales diferentes. La respuesta a la correlación cruzada genera una estimación en tiempo real de la diferencia de las rutas, que es utilizada por la función de control de latencia para volver a muestrear y compensar los flujos de datos para que las señales lleguen al destino de procesamiento o transmisión en un momento sustancialmente idéntico. Debido a que las señales están alineadas en el tiempo, el flujo de la señal puede cambiarse para superar los efectos de la parada del sistema, la degradación causada por factores meteorológicos (desvanecimiento por lluvia) o un entorno adverso para las señales, por ejemplo, perturbaciones o interferencias en una ubicación concreta.

Una diversidad de emplazamientos consiste en una capacidad que permite implementar un sistema de comunicación general de manera que quede reforzado frente a impedimentos locales proporcionando múltiples ubicaciones de transmisión, recepción y/o procesamiento. La necesidad más común de diversidad de emplazamientos se encuentra en los sistemas de comunicación de bandas Ku y Ka, que son altamente susceptibles al desvanecimiento de la señal causado por la lluvia. Las soluciones tradicionales al problema del desvanecimiento por lluvia incluyen la provisión de emplazamientos de grandes antenas de alta potencia que proporcionan un margen de enlace suficiente para «atravesar» la degradación provocada por factores meteorológicos, y aceptar períodos de interrupción de la señal mientras el procesamiento se traslada de una antena a una antena de respaldo cuando las condiciones meteorológicas son adversas. Otros usos para la diversidad de emplazamientos incluyen la necesidad de superar la interferencia localizada de las señales (ya sea una interferencia intencionada o una interferencia inadvertida de señales del mismo emplazamiento) o problemas mecánicos en el emplazamiento de la antena.

55 La FIG. 5 muestra la capacidad de un dispositivo de red espectral (DRE) para llevar a cabo el cálculo de compensación de tiempo de precisión y control de latencia, junto con su capacidad para cambiar rápidamente entre fuentes de datos, lo que permite que el sistema de comunicación implemente la diversidad de emplazamientos sin interrupciones. En la realización ilustrada en la FIG. 5, los dispositivos de red espectral 510, 512, 514, 516 permiten a los usuarios reemplazar una antena grande/de alta potencia y emitir con sistemas de antena más pequeños/de menor potencia 520, y/o agregar a la red terrestre 530 sistemas de telepuerto 522, 524 más pequeños ubicados de manera diversa a un coste mucho menor en relación con sus actuales sistemas de telepuerto de banda Ka/Ku más grandes. Mediante

los dispositivos de red espectral 510, 512, 514, 516, las señales de enlace descendente de las líneas de alimentación de antenas de baja potencia/ubicadas de manera diversa pueden conmutarse en tiempo real y enviarse a posteriores equipos. Esta señal de la «mejor fuente» procedente de las diversas fuentes de la señal es transparente para un posterior equipo de módem en el que el cambio (debido a un desvanecimiento por lluvia o una conmutación por error) 5 540 de una fuente de señal a otra ocurre lo suficientemente rápido como para evitar que en los módems se produzca la pérdida del bloqueo de la señal o la readquisición de la portadora. En consecuencia, el sistema de red espectral permite que los emplazamientos de antenas de banda Ku o banda Ka resuelvan el problema de la pérdida de datos debida al desvanecimiento por lluvia de la señal, o la degradación del equipo para los emplazamientos de antenas en general. Por lo tanto, cada problema se resuelve de una manera que reduce los costes generales del equipo, mitiga 10 la pérdida de datos y aumenta la disponibilidad/calidad de servicio (QoS) de los accesos por satélite que utilizan estos emplazamientos de antenas.

Caso de uso: telepuerto virtual

15 La FIG. 6A muestra un sistema 600 en el que un productor de contenidos 610 necesita enviar datos a múltiples telepuertos 620 para llegar a todos los clientes. En la realización que se ilustra en la figura 6A, el equipo concentrador 622 instalado en cada telepuerto 620 es costoso, utiliza un espacio considerable en el rack y requiere personal de mantenimiento en cada telepuerto.

20 En cambio, la FIG. 6B muestra un sistema 650 en el que se utilizan dispositivos de red espectral 670, 672 para reducir la necesidad de costosos equipos concentradores de telepuerto 622 y la logística/dotación correspondiente en las estaciones terrenas. En la realización ilustrada en la figura 6B, el productor de contenidos 610 mantiene una copia única del costoso equipo concentrador 660 en sus instalaciones y usa la red para encaminar los datos del canal espectral hacia uno o más telepuertos 620.

25

Caso de uso: simplificación de sitios remotos

La FIG. 7A muestra la configuración convencional de una estación terrestre remota 700. Como se muestra en la FIG. 7A, la estación terrestre remota convencional 700 debe procesar la señal de RF in situ y enviar el flujo de datos 30 demodulados a través de la red de área amplia (WAN) al centro de operaciones de la misión. El equipo de procesamiento in situ 720 incluye enlaces entre instalaciones (IFL) de RF a ópticas 724, 726 para conectar convertidores de bloque ascendentes/descendentes (BUC/BDC) 730 a través de conmutadores de FI 722 al módem 718 y monitores espectrales 714. También puede haber dispositivos criptográficos 716 y puertas de enlace 712 para convertir mediante cifrado/descifrado señales de módem transmisibles en serie y transportarlas a través de la WAN. 35 El emplazamiento remoto 700 también incluye amplificadores (HPA/LNA) 732 y antena 734.

La FIG. 7B muestra una estación terrestre remota simplificada 770 en comunicación con un centro de operaciones de la misión 760 configurado con dispositivos de red espectral 764, 772 según una realización de la presente descripción. Los IFL de RF a óptico tienen un gran ancho de banda pero poseen un rango dinámico bajo y limitan la separación 40 máxima entre los convertidores ascendentes/descendentes y el conmutador de FI. Los dispositivos de conversión en los dispositivos de red espectral 764, 772 proporcionan un intervalo dinámico más alto y la separación máxima es básicamente ilimitada. En la realización que se ilustra en la FIG. 7B, los conmutadores de FI y las puertas de enlace dejan de ser necesarios y el módem 762, los algoritmos de cifrado 766 y los monitores espectrales 768 se pueden trasladar al centro de operaciones de la misión 760. Por consiguiente, la configuración resultante que se muestra en 45 la FIG. 7B tiene costes de capital y mantenimiento mucho más bajos, además de reducir sustancialmente la necesidad de instalaciones seguras. La estación terrestre remota simplificada 770 incluye ahora el dispositivo de red espectral 772, los BUC/BDC 774, los HPA/LNA 776 y la antena 778.

Caso de uso: Redes espectrales

50

Es una práctica común disponer de múltiples centros de operaciones de misión y múltiples estaciones terrestres remotas. La FIG. 8 muestra múltiples centros de operaciones de misión 810, 812, 814 y múltiples estaciones terrestres remotas 820, 822, 824 que se comunican a través de la WAN mediante dispositivos de red espectral 830, 832, 834, 840, 842, 844. Los dispositivos de red espectral permiten que cualquier centro de misión se comunique con cualquier 55 estación terrestre remota a través de la WAN. Esto también permite que el equipo de procesamiento se comparta entre múltiples emplazamientos.

Caso de uso: multiplicador de capacidad SATCOM

60 Es posible que los proveedores de Satcom necesiten enviar la señal de un usuario a través de varios de sus satélites para satisfacer los requisitos de distribución del cliente. Los dispositivos de red espectral se pueden usar para eliminar un salto de satélite enviando los mismos datos a través de una red terrestre. Por ejemplo, la FIG. 9 muestra un sistema

de red de datos 900 en el que los datos procedentes de una estación terrestre se encaminan hacia otra estación terrestre mediante rebotes de satélite. Por lo tanto, en la realización ilustrada en la FIG. 9, los datos de RF de la estación terrestre A 920, que han de ser encaminados hacia la estación terrestre B 926 (por ejemplo, en otro continente), se cargan inicialmente en el satélite A 910 y son rebotados hacia a la estación terrestre C 922.

- 5 Normalmente, estos datos que se rebotan hacia la estación terrestre C 922 desde el satélite A se encaminan hacia la estación terrestre D 924 a través de un enlace satelital hasta el satélite B 912. Sin embargo, utilizando los dispositivos de red espectral 930, 932 instalados en las estaciones terrestres C y D, respectivamente, los datos de RF se pueden encaminar a través de la red terrestre (por ejemplo, WAN), eliminando así la necesidad del rebote del satélite 940, 942 al satélite B 912. Ahora, la capacidad que se ha incorporado en el activo espacial (es decir, el satélite B) se puede
- 10 vender a un cliente. Dado que los costes de la red terrestre continúan disminuyendo, los márgenes para la capacidad adicional continuarán mejorando.

Caso de uso: habilitador de módem digital o de software

- 15 La FIG. 10 es una arquitectura terrestre de satélite 1000 que incluye dos elementos principales: un centro de datos genérico 1010 para las operaciones de la misión, y emplazamientos de antenas remotas en red 1020, 1022, 1024 que trabajan con RF digitalizada y que se pueden ubicar en el punto más ventajoso dentro de la huella terrestre del satélite, siempre que haya acceso a un proveedor de servicios de Internet (ISP).

- 20 Las instalaciones iniciales de los dispositivos de red espectral 1040, 1042, 1044 admiten módems heredados y equipos de monitorización de espectro diseñados para entradas analógicas de RF o FI. Actualmente se están implementando nuevos módems que aceptan entradas de red que utilizan formatos de mensaje estándar de la industria (VITA-49 o SDDS). Estos módems se encuentran en dos formas, dependiendo de las velocidades de mensajes con las que, por su diseño, pueden trabajar: (1) los módems de datos de misión 1038 funcionan a velocidades de datos del orden de
- 25 centenares de Mbps hasta unos pocos Gbps; (2) los módems 1032 de telemetría, seguimiento y mando (TT&C) operan con velocidades de datos del orden de las decenas de kbps hasta unos pocos Mbps (generados por el procesamiento de TT&C 1030) y pueden implementarse como funciones de software puro que se ejecutan en servidores multinúcleo en rack o de tipo blade. Los módems de datos de misión 1038 usan una o más FPGA que ejecutan algoritmos de procesamiento de señales en paralelo para llevar a cabo la modulación y la demodulación. Los módems 1038 pueden
- 30 aceptar paquetes de red UDP/IP con los mensajes VITA-49 o SDDS directamente en el firmware, en el cual se desensamblan. Las muestras se envían a los componentes de procesamiento de señales 1034 que se configuran utilizando los metadatos de los mensajes de red espectral. Tanto los datos de la misión como los datos de TT&C se pueden almacenar en la base de datos de bus y carga útil 1036.

- 35 Caso de uso: gestión de anomalías en órbita

Los dispositivos de red espectral se pueden ampliar con capacidades de registro para proporcionar una potente herramienta para solucionar problemas de anomalías en órbita. Por ejemplo, la FIG. 11 muestra una instalación de análisis de tierra 1100 en comunicación con una estación de tierra 1140 a través de la WAN. En la realización ilustrada

40 en la FIG. 11, un registrador 1120 acoplado al dispositivo de red espectral 1130 actúa como registrador continuo de tipo «caja negra» y puede almacenar desde unas horas hasta unos días de datos espectrales (por ejemplo, desde una estación terrestre 1140, a través de un dispositivo de red espectral 1132) que pueden ser consultados fuera de línea por analistas utilizando equipos de ensayo/análisis 1112 y la cadena de tierra 1114 al investigar problemas. Dado que se conserva el espectro para un transpondedor completo, los datos registrados pueden revelar el funcionamiento del

45 sistema antes, durante y después del evento. Debido a que se guarda todo el transpondedor, también es posible ubicar geográficamente las señales en el pasado cercano, lo que puede ser otra herramienta valiosa para resolver problemas.

Sistema inteligente de transporte dinámico de señales (IDynSTS)

- 50 La FIG. 12 es un diagrama de bloques funcional de un sistema de transporte de señal dinámica inteligente (IDynSTS) 1200 diseñado para captar con precisión las señales de radiofrecuencia (RF) recibidas, como, por ejemplo, señales de comunicación, y transportarlas de manera eficiente a través de redes digitales como Ethernet. En la realización ilustrada de la FIG. 12, la señal de RF 1210 es recibida, digitalizada por un digitalizador 1212 y transformada mediante una FFT de transmisión 1214, se le superpone una selección y superposición de bins 1216, y es comprimida por una
- 55 unidad de compresión 1218. Después es capaz de reconstruir las señales captadas en el extremo más alejado, de modo que la información original esté disponible, como si el usuario estuviera presente en el extremo cercano. Por ejemplo, la señal recibida a través de la red digital es descomprimida por una unidad de descompresión 1220, reconstruida mediante una reconstrucción de bins 1222, transformada mediante una FFT inversa 1224, reconstruida como señal por una unidad de reconstrucción de señal 1226, y generada como una salida de RF 1228. Por lo tanto,
- 60 IDynSTS 1200 proporciona una comunicación eficiente de la información utilizando métodos adaptativos y dinámicos para minimizar los requisitos de ancho de banda de la red. A continuación se describe más detalladamente cada unidad del IDynSTS 1200.

Función de digitalizador y velocidad de datos de salida

Las señales recibidas se captan mediante un digitalizador de hardware 1212, capaz de muestrear el entorno de la señal de entrada, cumpliendo totalmente el criterio de Nyquist para los sistemas muestreados. Par ello se requiere que la frecuencia de muestreo del digitalizador sea mayor que el doble del ancho de banda B_w ($f_s \geq 2B_w$). Se debe mantener una fidelidad de señal adecuada para los fines de la aplicación, para lo cual se requiere que cada muestra sea lo suficientemente grande como para representar con precisión la señal captada en el instante de las muestras. Para un muestreo uniforme, se puede mostrar que la relación señal/ruido está relacionada con el número de bits N_b por $SNR = 6,02 * N_b$. Actualmente, los digitalizadores diseñados para captar señales de RF suelen utilizar entre 4 y 16 bits. La velocidad de datos digitalizados requerida para transportar la información capturada es, por tanto, un total de $D_R = f_s * N_b > 2 * B_w * N_b$. Como ejemplo, suponemos que el ancho de banda deseado es de 50 MHz, y la relación señal/ruido deseada requiere muestras de 8 bits.

$$D_R \geq 2 \cdot 50(\text{MHz}) \cdot 8 = 800 \text{ Mbps}$$

Con esta velocidad de datos y fidelidad de señal, los datos se pueden empaquetar y transportar a través de una red Gigabit Ethernet estándar.

FFT de transmisión

La función de FFT de transmisión 1214 está diseñada para transformar los valores de los datos muestreados en el dominio de frecuencia a la vez que se mantiene la capacidad de reconstruir la señal contigua en el tiempo sin distorsión. El proceso se ajusta al conocido algoritmo de superposición-guardado o superposición-adición. Los pasos involucrados en la implementación de la FFT de transmisión de superposición y guardado se ilustran en la FIG. 13. En la realización ilustrada en la FIG. 13, el flujo de datos de entrada se segmenta conceptualmente en bloques de longitud L 1300, y se solapa con las muestras M-1 1310, donde L y M se eligen para satisfacer los requisitos de procesamiento.

Selección y superposición de bins

El objetivo del proceso de selección y superposición de bins 1216 es eliminar los bins de frecuencia que no tienen información útil y, por tanto, se descartan de un procesamiento posterior. En un caso extremo, si no hay señales de interés en todo el espectro, no será necesario transferir ningún dato.

El proceso de selección de bins 1216 se divide en múltiples etapas, en las que cada etapa de análisis está diseñada para captar señales con diferentes características. Una etapa está diseñada para captar las características asociadas con muchas señales de comunicación normales que tienen unas características de potencia frente al tiempo casi constantes. Entre los ejemplos de señales de comunicación que poseen esta característica, se incluyen PSK, FM, QAM, FSK y OFDM. En estos casos, el aislamiento de la señal se puede determinar mediante un simple análisis de potencia frente a frecuencia, que permite ignorar las frecuencias que no contienen ninguna información útil. Otra etapa está diseñada para captar señales dinámicas, como, por ejemplo, señales con agilidad de frecuencia o tiempo. Entre los ejemplos de señales que presentan estas características, se incluyen las modulaciones de espectro ensanchado por salto de frecuencia (FHSS) y de multiplexación por división de tiempo (TDM). Debido a la naturaleza selectiva en el tiempo de la señal, se permite un proceso de superposición, de modo que se seleccionarán los bins activos circundantes (en el tiempo) para la transmisión a fin de garantizar que se capte la ventana de tiempo deseada.

45 Compresión

La función de compresión 1218 se ocupa principalmente de analizar la información obtenida del proceso de selección y superposición de bins y de decidir cómo codificar los datos de manera eficiente en lo que respecta a los bits. Para la compresión de datos sin pérdida, cada agrupación de bins activa se analiza y se clasifica según el contenido de la señal, como, por ejemplo, el tipo de modulación. Se aplica un proceso de predicción de señal basado en las características de modulación identificadas. Este proceso se puede considerar como una ampliación en comparación al algoritmo de codificación predictiva lineal, que es más conocido. Los residuos de esta etapa de codificación se comprimen aún más mediante técnicas de codificación entrópica conocidas, como la codificación Rice, aritmética y/o Huffman. Para mayores necesidades de compresión, también se implementan algoritmos de compresión con pérdida. Los algoritmos con pérdida están diseñados para limitar la pérdida de fidelidad en función de las métricas asociadas con cada tipo de modulación. Como ejemplo, para señales moduladas mediante QPSK, el proceso de compresión y descompresión debe limitar el impacto en las tasas de error. En su concepto, el proceso es similar a las técnicas de compresión con pérdida aplicadas a otras aplicaciones como, por ejemplo, vídeo y audio, en las que cada una limita el impacto sobre las percepciones visuales o auditivas. En esta aplicación, la calidad de la forma de onda comprimida viene determinada por aumentos en las tasas de error de bits para las señales de comunicaciones, o reducciones en la capacidad de medir el tiempo de llegada o la frecuencia de llegada para señales de navegación.

Descompresión

Las funciones de descompresión 1220 están configuradas para restaurar el flujo de datos original desde la etapa de compresión. En algunos casos, en los que se emplean técnicas de codificación adaptativa en el proceso de codificación, estas funciones deben recrearse aquí para volver a crear el flujo de datos original.

Reconstrucción de bins

10 La unidad de reconstrucción de bits 1222 sirve para restaurar toda la representación en el dominio de frecuencia de la señal de entrada en un bloque contiguo que es compatible con la función FFT inversa.

FFT inversa

15 La finalidad de la unidad funcional inversa FFT 1224 es convertir la representación de la señal en el dominio de frecuencia en una señal en el dominio temporal. Este proceso se lleva a cabo en bloque y necesita un procesamiento adicional para recuperar la señal en el dominio de tiempo continuo.

Reconstrucción de la señal

20 Es necesario combinar los bloques de datos de la FFT inversa de una manera específica, dependiendo de si se utilizó un algoritmo de superposición-guardado o de superposición-adición en la función de la FFT de transmisión. La finalidad de la función de reconstrucción de señales 1226 es restaurar los resultados del procesamiento en bloques para obtener una señal contigua en el tiempo, que sea una representación precisa de la forma de onda original. En la FIG. 14, se muestra un ejemplo de función de reconstrucción de señales 1226.

Sintonizador/traductor de subbandas optimizado

El sintonizador/traductor de subbandas optimizado proporciona capacidades de muestreo ascendente y descendente de señales de RF/FI (radiofrecuencia/frecuencia intermedia), que disponen de un amplio abanico de selecciones de ancho de banda con alta resolución y precisión de configuración. Esto permite al usuario hacer coincidir de manera óptima las configuraciones de frecuencia y ancho de banda con la señal que se transporta, minimizando el ancho de banda de red potencialmente costoso. Este enfoque genera ajustes exactos de frecuencia de alta resolución (relación de enteros) tanto para la síntesis de osciladores locales (OL) como para los cambios de frecuencia de muestreo. Las FIGS. 15 y 16 son diagramas de bloques funcionales de las funciones de muestreo descendente 1500 y muestreo ascendente 1600, respectivamente. Cada uno de los muestreadores, descendente 1500 y ascendente 1600, incluye un generador de frecuencia de OL 1510, 1610 y un generador de velocidad de muestreo 1520, 1620.

Generador de relación de enteros

40 Los generadores de frecuencia de OL y frecuencia de muestreo que se ilustran en las FIGS. 15 y 16 se componen, cada uno, de una o más etapas de generador de relación de enteros. La FIG. 17 es un diagrama de bloques funcional de un generador de relación de enteros 1700 que utiliza una RAM de doble puerto precargada por software para implementar un algoritmo de acumulador de módulo entero D (denominador) con una entrada positiva o negativa designada como N (numerador). Cuando se aplica la frecuencia de la tasa de muestreo f_s , la frecuencia de salida f_o es exactamente igual a $f_s \cdot (N/D)$.

50 Durante la inicialización, el procesador/software carga la RAM de doble puerto con todas las posibles secuencias de salida del acumulador a través de los puertos de escritura (lado izquierdo) 1710, 1712. Durante la operación, los bits menos significativos (LSB) de salida de registro de datos del puerto de lectura (lado derecho) 1726 reflejan el estado actual del acumulador del módulo D. Este valor se devuelve a los LSB de entrada de dirección del puerto de lectura 1722. De este modo, se accede al siguiente estado del acumulador determinado por el estado actual y los valores N/D utilizados por el algoritmo de inicialización.

55 Opcionalmente, se puede proporcionar una entrada de transporte de una etapa del generador anterior (menos significativa) mediante la inclusión de un MSB de entrada de registro de dirección del puerto de lectura adicional 1720. El algoritmo de inicialización de software añade (N positivo) o resta (N negativo) un factor de uno adicional siempre que esta entrada es alta.

60 La salida de transporte opcional se puede conectar a una etapa de generador posterior (más significativa) o se puede usar como señal de frecuencia de salida digital. La salida de transporte se proporciona mediante la adición de otro bit más significativo (MSB) de salida de registro de datos del puerto de lectura 1724, y se controla a través del algoritmo

de inicialización de software.

Aplicación de generador de tasa de remuestreo

5 Los generadores de tasa de remuestreo 1520, 1620 que se ilustran en las FIGS. 15 y 16 para el sintonizador/traductor utilizan una sola etapa de generador de relación de enteros. El tamaño de la RAM para cada uno es de 2Kx12 bits e incluye una salida de transporte (frecuencia digital), pero no una entrada de transporte. Los 11 bits de dirección del puerto de lectura y los 11 bits de registro de datos menos significativos (LS) representan un máximo de 2048 estados del acumulador. Para generar todas las velocidades de salida/anchos de banda requeridos, se utiliza uno de los seis
10 diferentes valores de D, de 720 a 1800, combinado con un valor N de entre poco más de D/2 a D-1. Esto permite un total de 3260 configuraciones exactas de ancho de banda desde 36 MHz hasta 10 kHz, cada una de ellas con 3 dígitos decimales de resolución de control de ancho de banda.

La salida del estado del acumulador del generador de velocidad de remuestreo también se utiliza para buscar
15 coeficientes de control de retardo para el correspondiente filtro FIR de remuestreo asíncrono.

La RAM de 2Kx12 = 24K puede implementarse con uno o tres bloques de RAM en un FPGA típico. Incluso los FPGA pequeños/de coste relativamente bajo proporcionan, por lo general, cientos de estos bloques, por lo que la implementación de esta estructura no suele suponer un problema de recursos del FPGA.
20

Aplicación de generador de frecuencias de OL

Los generadores de frecuencias de OL 1510, 1610 que se muestran en las FIGS. 15 y 16 para el sintonizador/traductor proporcionan una resolución de control de frecuencia de 1 Hz utilizando un reloj de referencia de 40 MHz (f_s). Cada
25 uno de ellos se implementa con tres etapas de generador de frecuencia de relación de enteros de transporte de entrada/salida en cascada. Los valores fijos del denominador para cada etapa son 160 (más significativo o MS), 500 y 500 (menos significativo o LS). El valor general total del denominador (D_T) es entonces $160 \cdot 500 \cdot 500 = 40e6$, que proporciona una resolución de sintonización de $40 \text{ MHz}/40e6 = 1 \text{ Hz}$.

30 La etapa más importante proporciona hasta 256 estados (160 utilizados) con una entrada de transporte pero sin salida de transporte, lo cual requiere una RAM de puerto doble de 512x8 bits (4K bits). Los 8 bits de registro de datos del puerto de lectura se devuelven de nuevo a los 8 bits de dirección LS del puerto de lectura, con el bit de dirección MS funcionando como el transporte de entrada de la etapa anterior (menos significativa).

35 Cada una de las etapas intermedias/menos significativas proporciona hasta 512 estados (500 utilizados) con una entrada y salida de transporte, por lo que cada una se implementa con una RAM de 1Kx10 (10K bits). Los 9 bits de datos de registro del puerto de lectura LS se devuelven a los 9 bits de dirección MS. La salida de registro de datos de lectura MS y los bits de entrada de dirección se utilizan para indicar la salida y la entrada de transporte respectivamente.
40

Dado que estas RAM son más pequeñas que las utilizadas para los generadores de tasa de remuestreo, tampoco suelen presentar un problema de recursos del FPGA.

45 Para obtener un valor de salida del acumulador con resolución suficiente para direccionar las tablas de búsqueda (LUT) de seno y coseno, las dos salidas de estado del acumulador de la etapa más significativas se combinan y se escalan para obtener un valor de fase binario para las LUT de seno/coseno.

50 Los valores de N para cada etapa del generador se calculan utilizando un algoritmo de división entera de cociente/resto iterado con la frecuencia de salida solicitada, f_s , y los valores de D preasignados como entradas.

La descripción anterior de las implementaciones descritas se proporciona para permitir que cualquier experto en la técnica realice o use la invención reivindicada. Debe entenderse que la descripción y los dibujos presentados en el
55 presente documento representan implementaciones ejemplares de la descripción y, por lo tanto, son representativos de la materia que se contempla en líneas generales en la presente descripción. Se entiende además que el alcance de la presente descripción abarca completamente otras implementaciones y que el alcance de la presente invención, por consiguiente, solo está limitado por las reivindicaciones adjuntas.

60

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de red espectral (100) para la transmisión y recepción de señales de RF multibanda a través de una red de protocolo de Internet (IP), que comprende una primera fuente (420, 422), y la primera fuente comprende:
 - 5 un muestreador (110) configurado para extraer al menos un canal de ancho de banda más pequeño a partir de un canal de ancho de banda más grande, y
 - convertir el al menos un canal de ancho de banda más pequeño, pasando del dominio analógico a al menos un canal espectral, siendo el al menos un canal espectral una representación digitalizada del al menos un canal de ancho de banda más pequeño, y
 - 10 un codificador de paquetes (130) configurado para encapsular el al menos un canal espectral como paquetes de datos, incluyendo cada uno de dichos paquetes un tiempo de creación (TOC) basado en una referencia de tiempo global y configurado para su transmisión a través de la red IP;
 - 15 el sistema (100) comprende además un primer sumidero (430, 432), el primer sumidero comprende:
 - un decodificador de paquetes (140) para recibir el paquete desde la red IP configurado para desencapsular y reconstituir el al menos un canal espectral de los paquetes generados por el codificador de paquetes (130) y para proporcionar un control de latencia de recepción determinista basado en el TOC de cada paquete entregando datos
 - 20 al menos un canal espectral únicamente cuando se ha alcanzado un objetivo de latencia de extremo a extremo, y un convertidor ascendente (120) configurado para convertir el al menos un canal espectral digitalizado al dominio analógico e insertar el al menos un canal de ancho de banda más pequeño en el canal de ancho de banda más grande; y
 - el sistema (100) comprende además una segunda fuente y un segundo sumidero, y
 - 25 una unidad de conmutación por error automática, y la unidad de conmutación por error automática incluye un divisor pasivo (410) acoplado al muestreador (110) de la primera fuente (420, 422) y configurado para dividir una señal de RF para su transmisión a la primera fuente (420, 422) y la segunda fuente (420, 422), siendo cada una de las fuentes primera y segunda capaz de actuar como fuente principal y como fuente de respaldo, y
 - un combinador pasivo (440) acoplado al convertidor ascendente (120) del primer sumidero y configurado para
 - 30 combinar señales de fuente del primer sumidero (430, 432) y el segundo sumidero (430, 432) para su transmisión, siendo cada uno de los sumideros primero y segundo capaz de actuar como sumidero principal y como sumidero de respaldo, y
 - en el que el sistema de conmutación por error automática está configurado para proporcionar la conmutación de datos a un enlace entre la fuente de respaldo (420, 422) y el sumidero de respaldo (430, 432) después de un fallo
 - 35 de la fuente principal (420, 422) o el sumidero principal (430, 432).
2. El sistema (100) de la reivindicación 1, en el que el codificador de paquetes (130) encapsula la al menos una señal del canal espectral para obtener paquetes de transporte de radio estándar ANSI/VITA-49 (VRT).
- 40 3. El sistema (100) de la reivindicación 2, en el que el codificador de paquetes (130) implementa y gestiona al menos un canal espectral mediante técnicas de corrección de errores sin canal de retorno basada en paquetes (P-FEC).
4. El sistema (100) de la reivindicación 3, en el que el codificador de paquetes (130) está configurado
- 45 además para agregar las técnicas de P-FEC a los paquetes VRT organizando los paquetes VRT en grupos de paridad intercalada.
5. El sistema (100) de la reivindicación 2, en el que las muestras en fase y cuadratura de los paquetes VRT se insertan en la al menos una señal del canal espectral con bits no utilizados entre las muestras.
- 50 6. El sistema (100) de la reivindicación 5, en el que cada muestra es un número de coma fija con signo, y el codificador de paquetes (130) puede ajustar un número de bits por muestra en función de una relación señal/ruido requerida por el equipo de procesamiento en un destino remoto.
- 55 7. El sistema (100) de la reivindicación 2, en el que el decodificador de paquetes (140) está configurado además para desencapsular y decodificar los datos de mensaje encapsulados y codificados mediante un paquete de paridad VRT para cada uno de una pluralidad de grupos de paquetes VRT.
8. El sistema (100) según la reivindicación 1, que comprende además: medios para el cambio
- 60 ininterrumpido de flujos de datos entre diferentes equipos de antenas y módems para permitir la diversidad de emplazamientos de antenas y de procesamiento.

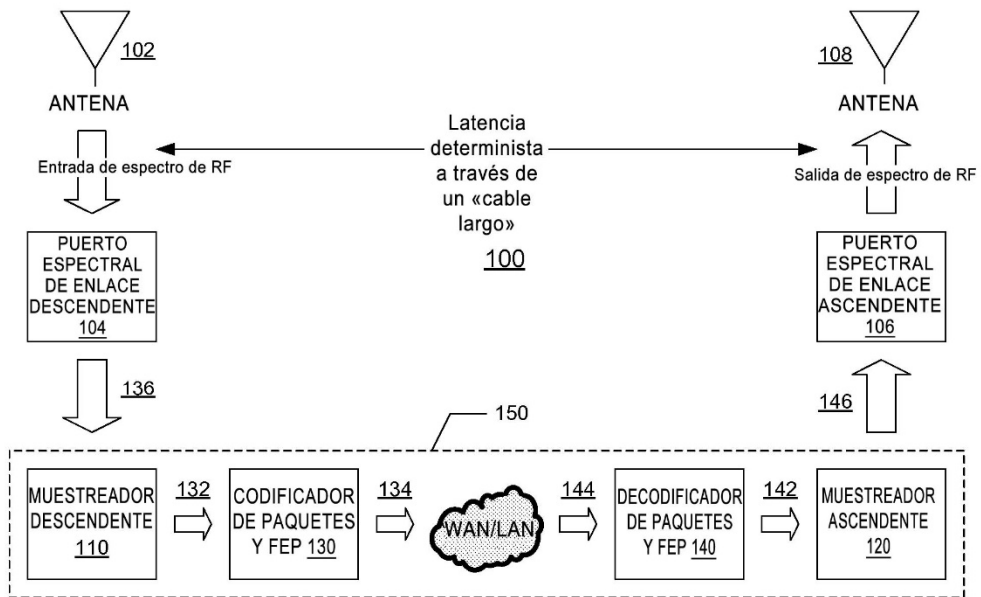


FIG. 1

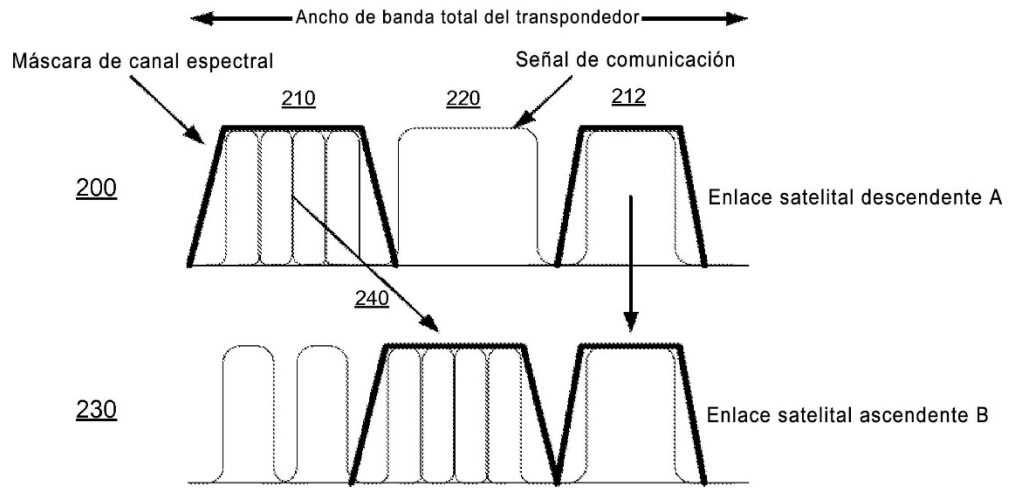


FIG. 2

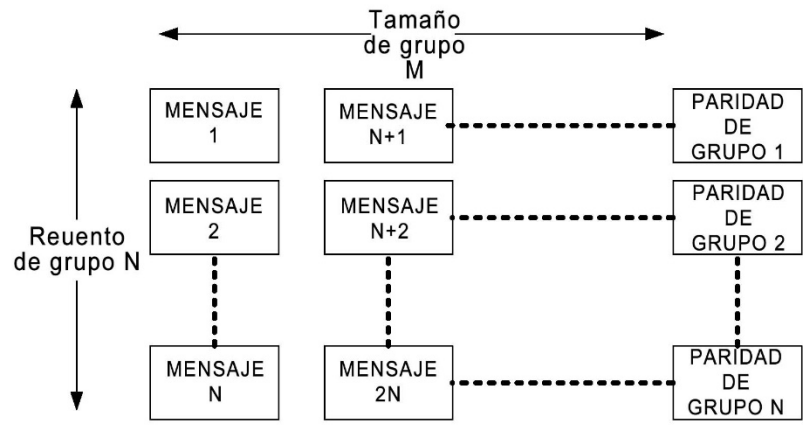


FIG. 3

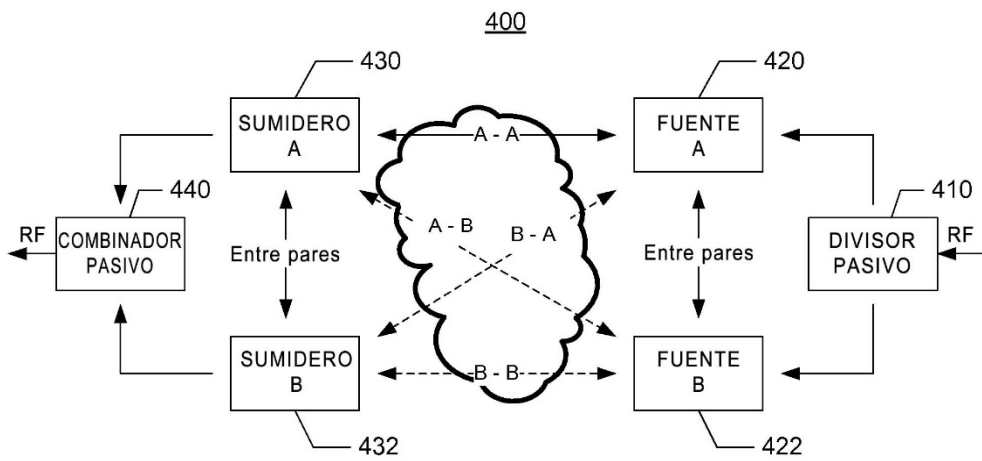


FIG. 4

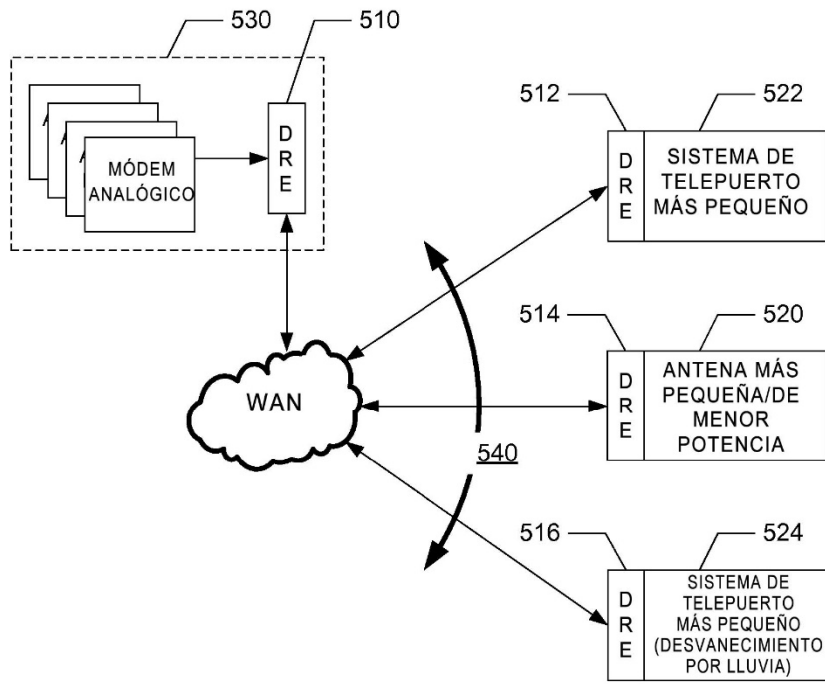


FIG. 5

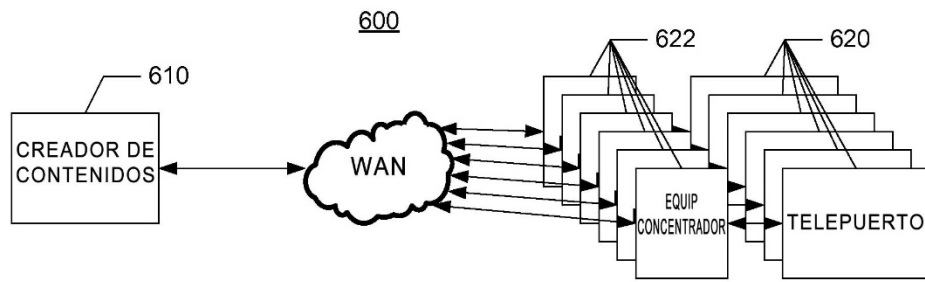


FIG. 6A

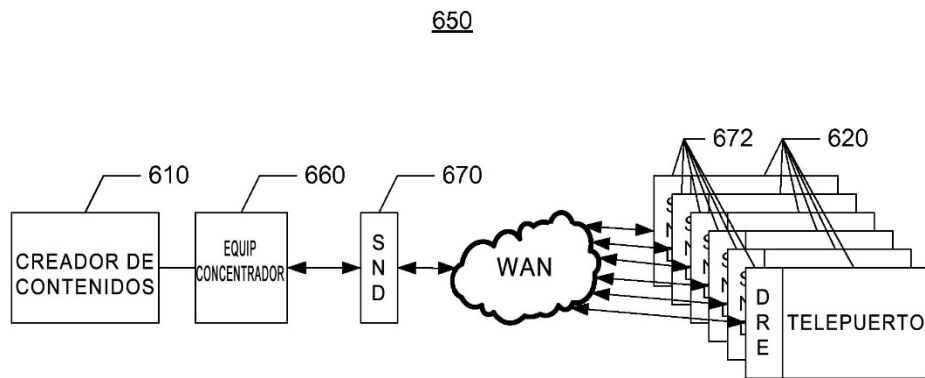


FIG. 6B

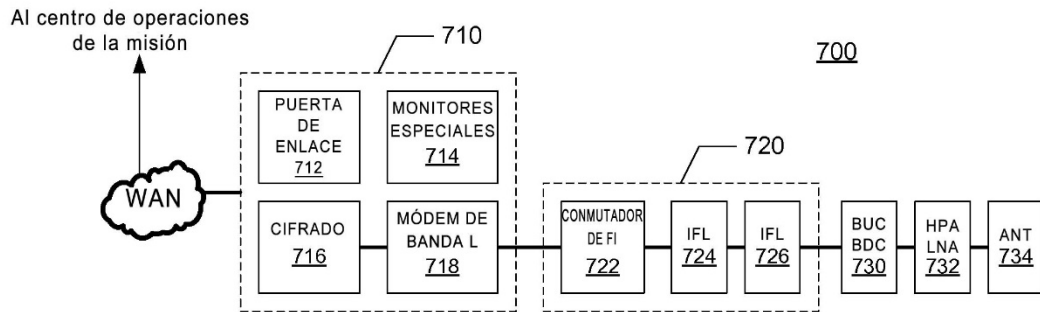


FIG. 7A

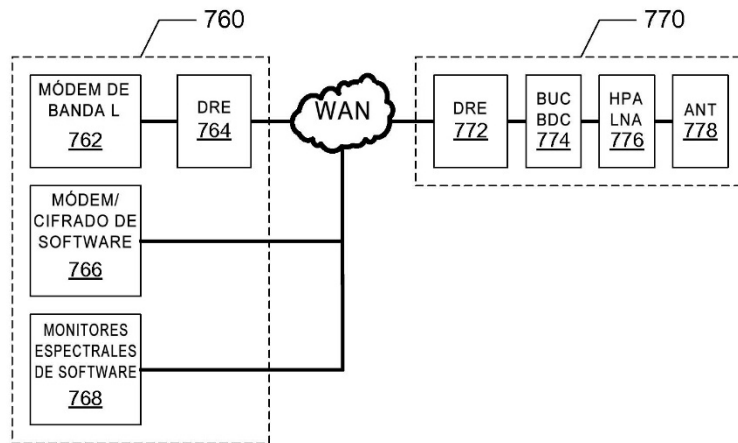


FIG. 7B

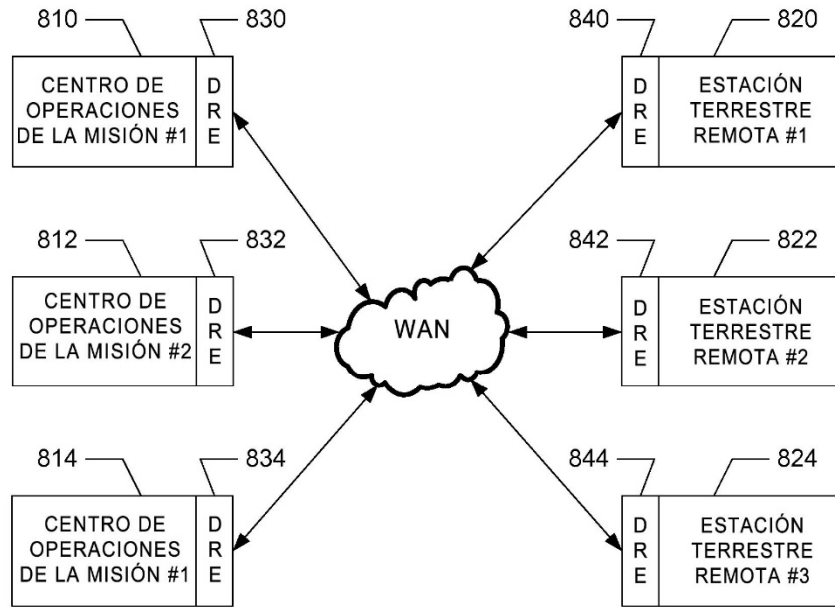


FIG. 8

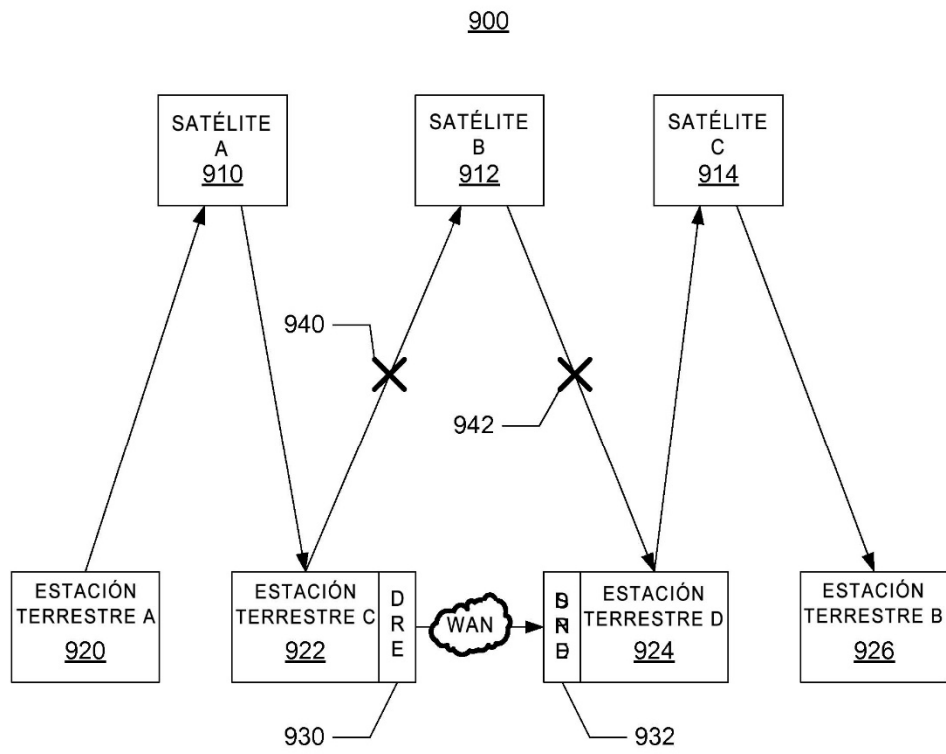


FIG. 9

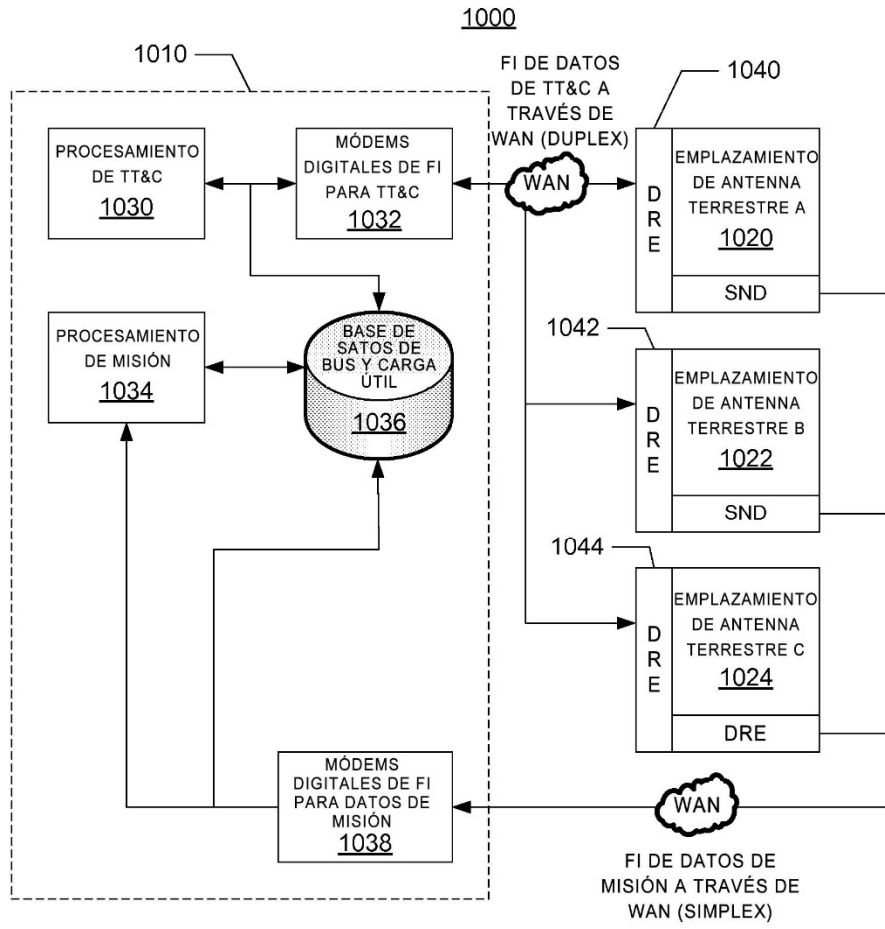


FIG. 10

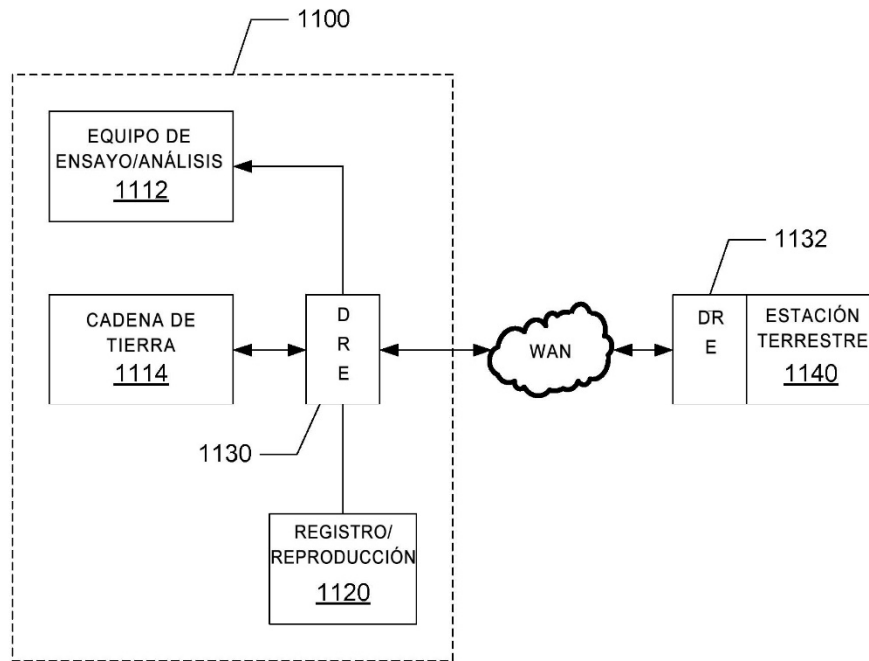


FIG. 11

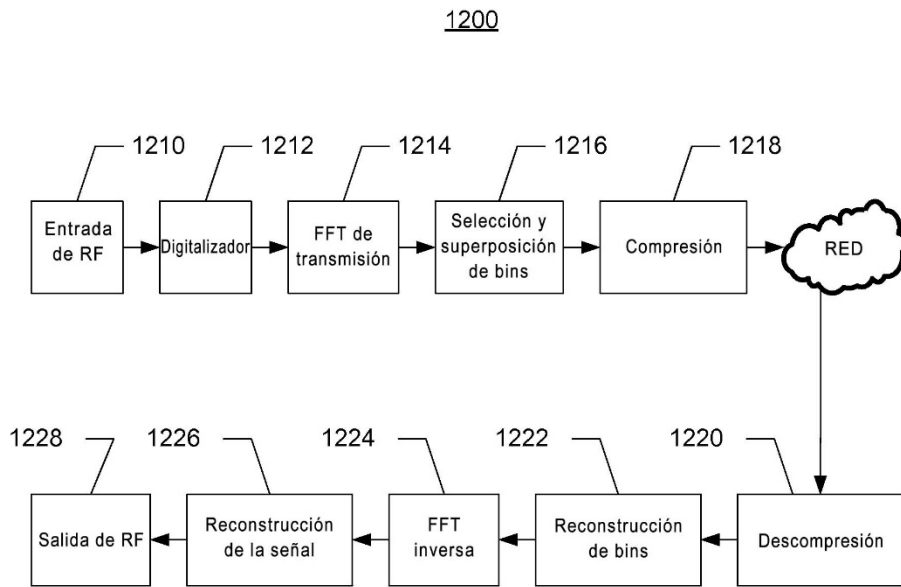


FIG. 12

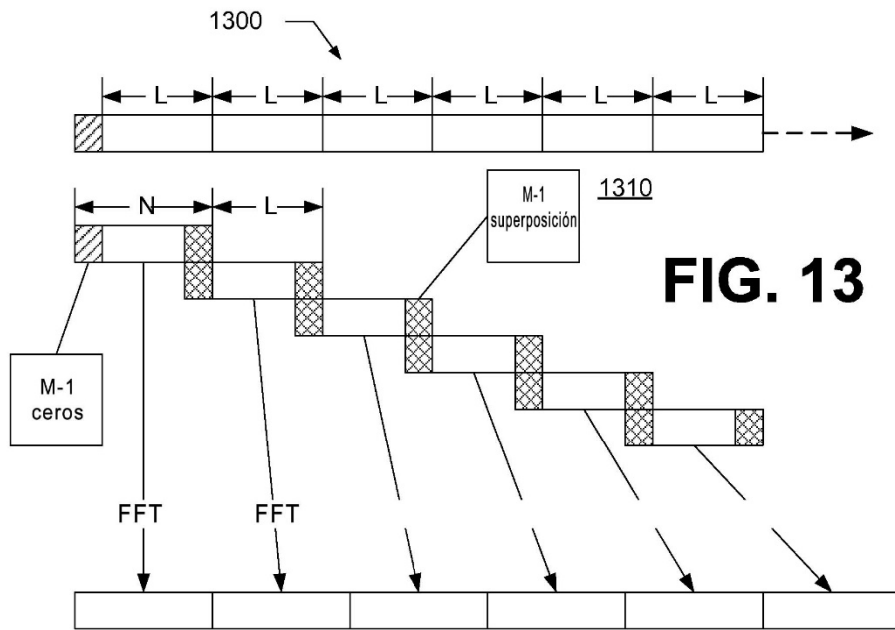


FIG. 13

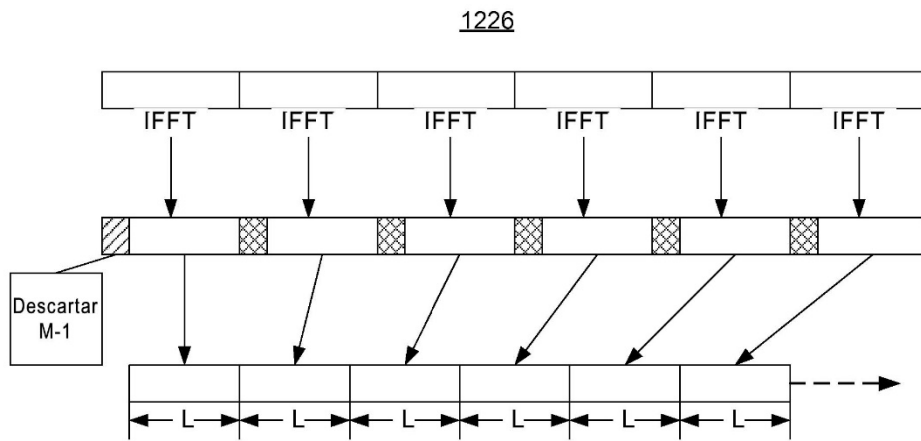
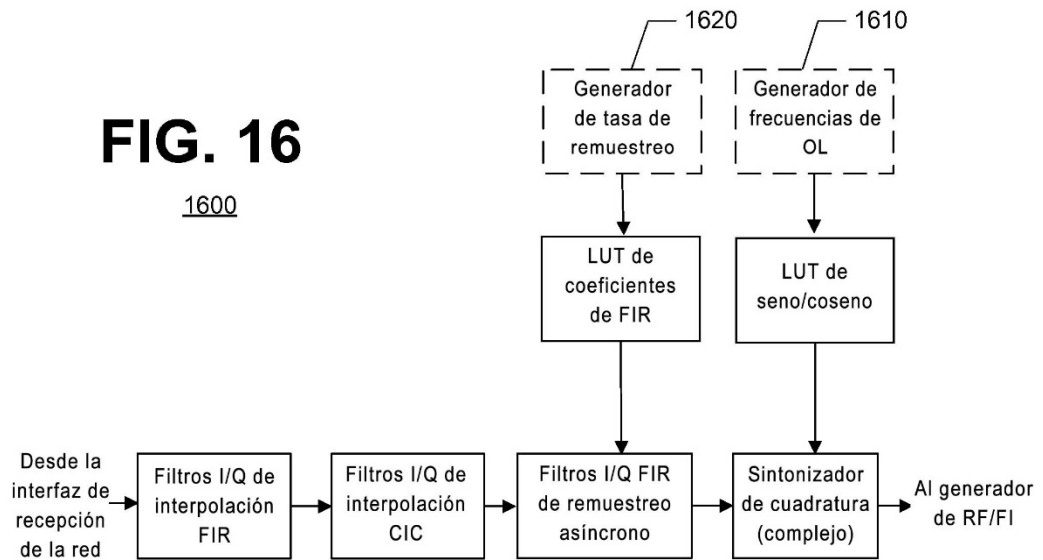
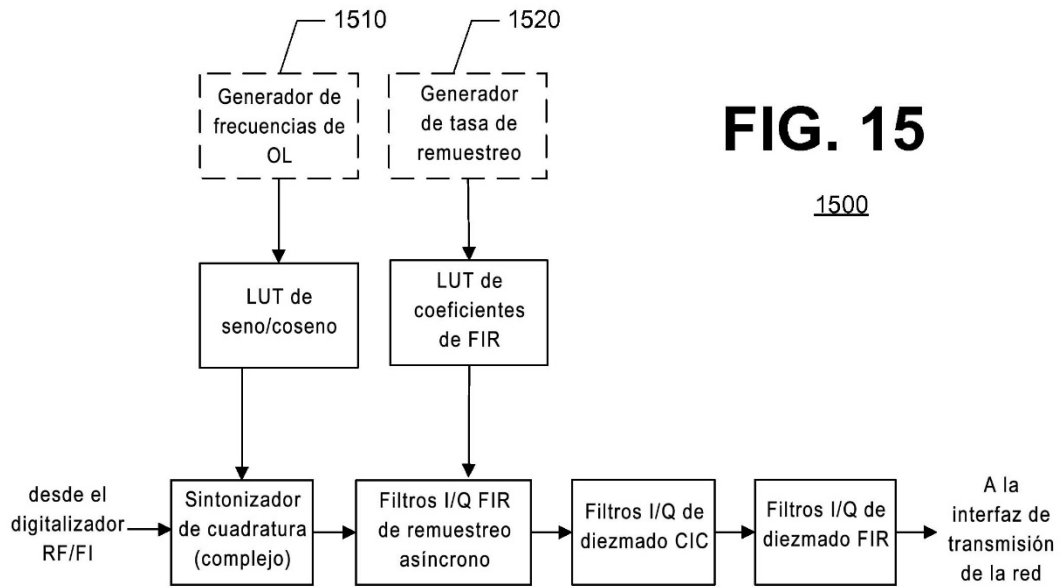


FIG. 14



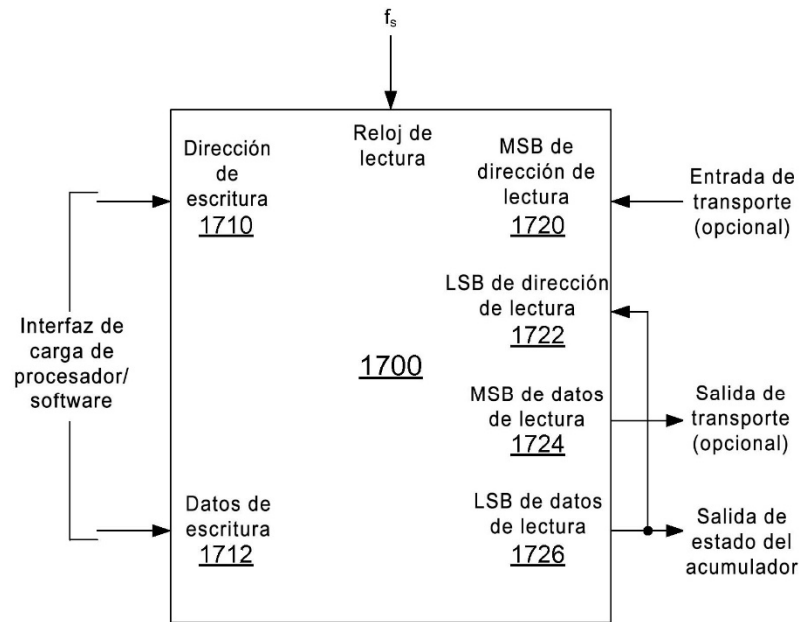


FIG. 17