



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 357 568**

51 Int. Cl.:
H04L 27/34 (2006.01)
H04B 7/185 (2006.01)
H04N 1/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **03774848 .0**
96 Fecha de presentación : **15.10.2003**
97 Número de publicación de la solicitud: **1579706**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **28.09.2005**

54 Título: **Método y aparato para adaptar los requisitos de potencia de la portadora de acuerdo con la disponibilidad en sistema de modulación en capas.**

30 Prioridad: **25.10.2002 US 421333 P**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
27.04.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
27.04.2011

73 Titular/es: **THE DIRECTV GROUP, Inc.**
2250 E. Imperial Highway
El Segundo, California 90245, US

72 Inventor/es: **Chen, Ernest, C.;**
Anderson, Paul, R. y
Santoru, Joseph

74 Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 357 568 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

REFERENCIAS CRUZADAS A SOLICITUDES RELACIONADAS

5 En esta solicitud se reivindican los beneficios de la Solicitud de Patente Provisional de EE.UU. Número 60/421.333, titulada "REDUCING AVAILABILITY TO MITIGATE CARRIER POWER REQUIREMENTS IN LAYERED MODULATION" ("REDUCCIÓN DE LA DISPONIBILIDAD PARA SUAVIZAR LOS REQUISITOS DE POTENCIA DE LA PORTADORA EN MODULACIÓN EN CAPAS") de Ernest C. Chen, Paul R. Anderson y Joseph Santoru, presentada con fecha 25 de octubre de 2002.

Esta solicitud es también una continuación en parte de las siguientes solicitudes de patente pendientes de tramitación junto con la presente y asignadas en común).

10 Solicitud de Utilidad Número de Serie 09/844.401, presentada con fecha 27 de abril de 2001, por Ernest C. Chen, titulada "MODULACIÓN EN CAPAS PARA SEÑALES DIGITALES".

ANTECEDENTES DEL INVENTO**1. Campo del Invento**

15 El presente invento se refiere a sistemas y métodos para transmitir datos, y en particular a un sistema y un método para adaptar los requisitos de potencia de la portadora en un sistema de modulación en capas.

2. Descripción de la Técnica Relacionada

20 Los sistemas de comunicaciones por señales digitales se han usado en varios campos, incluyendo el de la transmisión de señales de TV digitales, ya sean terrestres o ya sean vía satélite. A medida que los diversos sistemas de comunicaciones por señales digitales y servicios evolucionan, existe una demanda incipiente de una mayor capacidad total de transmisión de datos y de servicios añadidos. Sin embargo, es más difícil implementar ya sea la mejora en los sistemas antiguos o ya sean los nuevos servicios cuando sea necesario sustituir el legado de equipo físico existente, tal como el de los transmisores y los receptores. Los nuevos sistemas y servicios tienen ventaja cuando pueden utilizar el legado de equipo físico existente. En el campo de las comunicaciones inalámbricas, este principio se acentúa además por la limitada disponibilidad de espectro electromagnético. Por consiguiente, no es posible (o al menos no es práctico) simplemente transmitir datos mejorados o adicionales a una nueva frecuencia.

25 El método convencional para aumentar la capacidad espectral consiste en pasar a una modulación de más alto orden, tal como de una clave de cambio de fase en cuadratura (QPSK) a una fase de cambio de fase ocho (8PSK) o a una modulación en amplitud de cuadratura dieciséis (16QAM). Desafortunadamente, los receptores de QPSK no pueden desmodular las señales convencionales de 8PSK ni de 16QAM. Como resultado, el legado de los clientes en cuanto a los receptores de QPSK debe ser actualizado en cuanto a sus receptores con objeto de continuar recibiendo cualesquiera señales transmitidas con una modulación en 8PSK o en 16QAM.

30 Es ventajoso para los sistemas y métodos de transmisión de señales acomodar la producción total de datos mejorados e incrementados sin que se requieran espectros adicionales. Además, es ventajoso en cuanto a la producción total de señales mejoradas y aumentadas que los nuevos receptores sean compatibles con los receptores de que se dispone como legado. Es además una ventaja que los sistemas y métodos que permiten la transmisión de señales sean actualizados a partir de una fuente separada de los transmisores legados.

35 Se ha propuesto que para satisfacer estas necesidades se pueda emplear una señal de modulación en capas, que transmita de modo no coherente tanto las señales de la capa superior como las de la capa inferior. Tales sistemas de modulación en capas permiten una mayor capacidad de producción de información con compatibilidad retrospectiva. Sin embargo, incluso cuando no se requiera la compatibilidad retrospectiva (tal como con un sistema totalmente nuevo), la modulación en capas puede seguir siendo ventajosa ya que requiere una potencia máxima TWTA significativamente menor que para un formato de modulación convencional 8PSK o 16QAM para una producción dada.

40 Combarel L., y otros, en "HD-SAT (RACE 2075); HDTV Broadcasting over Ka-Band, satélite, cable and MMDS" (International Broadcasting Convention, IEE 1994) describen la transmisión en dos subcapas dentro de las capas de modulación de una señal transmitida a un satélite. Las subcapas contienen diferentes símbolos de datos.

45 Arslan H. y otros "Co-Channel Interference Cancellation with Successive Cancellation in Narrowband TDMA systems" describen la cancelación sucesiva de señales de canal compartido en el contexto de los sistemas de radio móviles TDMA en que se emplean receptores coherentes.

50 Sin embargo, un obstáculo significativo asociado a la implementación de la modulación en capas es el requisito de que los niveles de potencia en el transpondedor del satélite sean significativamente más altos que los actualmente presentados para el área de cobertura de la Tierra.

En consecuencia, existe una necesidad de sistemas y métodos para implementar los sistemas de modulación en capas para niveles de potencia del transpondedor más bajos. El presente invento satisface esta necesidad y proporciona otras ventajas, como se detalla aquí en lo que sigue.

SUMARIO DEL INVENTO

5 Para abordar los requisitos descritos en lo que antecede, el presente describe un método y un aparato para transmitir una señal de modulación en capas que tiene una primera capa de señal que tiene primeros símbolos de la señal y una segunda capa de señal que tiene segundos símbolos de la señal. El método comprende los pasos de determinar una potencia portadora C_L de modulación de la primera capa de señal, al menos en parte de acuerdo con un margen limpio M_L de la primera capa de señal y una disponibilidad de la primera capa de señal, que determinan una capa portadora C_U de modulación de la segunda capa de señal, de acuerdo al menos en parte con un margen limpio M_U de la segunda capa de señal, y una disponibilidad de la segunda capa de señal, modular los símbolos de la primera señal de acuerdo con una primera portadora a la potencia de la portadora de modulación de la primera capa de señal determinada; modular los símbolos de la segunda señal de acuerdo con una segunda portadora a la potencia de la portadora de modulación de la segunda capa de señal determinada para generar la señal de modulación en capas, y transmitir la señal de modulación en capas. En una realización, el margen limpio de la segunda capa de señal es menor que el margen limpio de la primera capa de señal cuando la disponibilidad de la primera capa de señal y la disponibilidad de la segunda capa de señal son sustancialmente iguales. En otra realización, la disponibilidad de la segunda capa de señal es mayor que la disponibilidad de la primera capa de señal y el margen limpio M_U de la segunda capa de señal es igual a

$$\frac{\beta_U \beta_U + \beta_L T_L}{\alpha_U \alpha_L + \beta_L T_L}$$

20 , en la que α_U representa al menos parcialmente la atenuación por la lluvia de la segunda portadora de modulación, α_L representa al menos parcialmente la atenuación por la lluvia de la portadora de modulación de la primera capa, β_U representa al menos parcialmente el ruido adicional en la segunda portadora de modulación debido a la lluvia, y β_L representa al menos parcialmente el ruido adicional en la primera capa de modulación debido a la lluvia.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

25 Con referencia ahora a los dibujos, en los cuales los números de referencia que son iguales representan partes que se corresponden en todos ellos:

La FIG. 1 es un diagrama que ilustra una vista general de un sistema de distribución de video de un solo satélite;

La FIG. 2 es un diagrama bloque que representa una configuración de enlace ascendente típica para un transpondedor de un solo satélite;

La FIG. 3A es un diagrama de una corriente de datos representativa;

30 La FIG. 3B es un diagrama de un paquete de datos representativo;

La FIG. 4 es un diagrama bloque en el que se muestra una realización del modulador;

La FIG. 5 es un diagrama bloque de un receptor/descodificador integrado;

Las FIGS. 6A-6C son diagramas que ilustran la relación básica de las capas de señal en una transmisión de modulación en capas;

35 Las FIGS. 7A-7C son diagramas que ilustran una constelación de señales de una segunda capa de transmisión sobre la primera capa de transmisión después de la desmodulación de la primera capa;

La FIG. 8 es un diagrama que ilustra un sistema para transmitir y recibir señales de modulación en capas;

La FIG. 9 es un diagrama bloque que representa una realización de un receptor/descodificador mejorado capaz de recibir señales de modulación en capas;

40 La FIG. 10A es un diagrama bloque de una realización del sintonizador/modulador mejorado y del codificador de FEC (Corrección del Error Hacia Delante);

La FIG. 10B representa otra realización del modulador/sintonizador mejorado en la que se efectúa la sustracción de capa en la señal en capas recibida;

45 Las FIGS. 11A y 11B representan los niveles de potencia relativa de las realizaciones que sirven de ejemplos del presente invento;

La FIG. 12 ilustra un sistema de ordenador que sirve de ejemplo que podría ser usado para implementar módulos o funciones seleccionados del presente invento;

La FIG. 13 es un diagrama que muestra los márgenes de cielo limpio de la capa de señal tanto superior como inferior en función del umbral de la capa de señal inferior y de la disponibilidad deseada;

La FIG. 14 es una ilustración en la que se muestran ejemplos de márgenes de cielo limpio de las capas de señal inferior y superior como niveles de potencia (dB) relativos al ruido térmico en las condiciones de cielo limpio.

5 La FIG. 15 es un gráfico que representa el margen de cielo limpio en función de la no disponibilidad de la capa de señal superior; y

La FIG. 16 es un diagrama que ilustra pasos del método que sirve de ejemplo que pueden ser usados para poner en práctica una realización del invento.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS REALIZACIONES PREFERIDAS

10 En la descripción que sigue se hace referencia a los dibujos que se acompañan, los cuales forman parte de la misma, y que muestran a modo de ilustración varias realizaciones del presente invento. Queda entendido que pueden ser utilizadas otras realizaciones y que pueden efectuarse cambios estructurales, sin rebasar el alcance del presente invento.

Sistema de Distribución de Vídeo

15 La FIG. 1 es un diagrama que ilustra una vista general de un sistema de distribución de video 100 de un solo satélite. El sistema de distribución de video 100 comprende un centro de control 102 en comunicación con un centro de enlace ascendente 104 a través de una tierra u otro enlace 114 y con una estación receptora de abonado 110 por medio de una red telefónica conmutada pública (PSTN) u otro enlace 120. El centro de control 102 proporciona material de programa (por ejemplo, programas de video, programas de audio y datos) al centro de enlace ascendente 104 y coordina con la estación receptora del abonado 110 para ofrecer, por ejemplo, servicios de programas de pago por visión (PPV) que incluyen facturación y descripción asociada de los programas de video.

20 El centro de enlace ascendente 104 recibe material de programa e información de control del programa del centro de control 102, y usando una antena de enlace ascendente 106 y el transmisor 105, transmite el material del programa y la información de control del programa al satélite 108. El satélite recibe y procesa esa información, y transmite los programas de video y la información de control a la estación 110 del receptor del abonado a través del enlace descendente 118 usando el transmisor 107. La estación receptora del abonado 110 recibe la información usando la unidad del exterior (ODU) 112, la cual incluye una antena de abonado y un convertidor de bloqueo de bloqueo de bajo ruido (LNB).

25 En una realización, la antena de la estación receptora del abonado es una antena de la banda Ku ligeramente ovalada de 45,7 cm (18 pulgadas). La forma ligeramente ovalada es debido a la alimentación descentrada 22,5 grados del LNB (convertidor de bloque de bajo ruido) que se usa para recibir señales reflejadas de la antena del abonado. La alimentación desplazada sitúa el LNB apartado del camino de modo que no bloquee ninguna área de la superficie de la antena, haciendo mínima la atenuación de la señal de microondas que llega.

30 El sistema de distribución de video 100 puede comprender una pluralidad de satélites 108 con objeto de proporcionar una mayor cobertura terrestre, para proporcionar canales adicionales, o bien para proporcionar una anchura de banda adicional por canal. En una realización del invento, cada satélite comprende 16 transpondedores para recibir y transmitir material de programas y otros datos de control desde el centro de enlace ascendente 104 y proporcionarlos a las estaciones 110 de recepción del abonado. Usando la compresión de datos y técnicas de multiplexado de las capacidades de los canales, dos satélites 108 que trabajen juntos pueden recibir y emitir sobre 150 canales de audio y de video convencionales (no de HDTV) por medio de 32 transpondedores.

35 Aunque el sistema que aquí se expone será descrito con referencia a un sistema de distribución de video 100 basado en satélites, el presente invento puede ser también puesto en práctica con transmisión en base terrestre de información de programas, ya sea por medios de emisión, por cable o por otros medios. Además, las diferentes funciones asignadas colectivamente entre el centro de control 102 y el centro de enlace ascendente 104, como se ha descrito en lo que antecede, pueden ser reasignadas como se desee sin rebasar el alcance pretendido del presente invento.

40 Aunque lo que antecede se ha descrito con respecto a una realización en la cual el material de programa entregado al abonado 122 es material de programas de video (y de audio), tal como de películas, el anterior método puede ser usado para entregar material de programas que comprenda información puramente de audio u otros datos igualmente.

Configuración de Enlace Ascendente

50 La FIG. 2 es un diagrama bloque que ilustra una configuración de enlace ascendente típica para un transpondedor 108 de un solo satélite, mostrando como se enlaza por vía ascendente material de programa de video al satélite 108 por el centro de control 102 y el centro de enlace ascendente 104. La FIG. 2 ilustra tres canales de video (los cuales podían ser aumentados respectivamente con uno o más canales de audio para música en alta fidelidad, información en pista de sonido, o un programa de audio secundario para transmitir en lenguas extranjeras), un canal de datos desde un

subsistema de guía de programas 206 e información de datos del ordenador desde una fuente de datos de ordenador 208.

Los canales de video se han previsto mediante una fuente de programas de material de video 200A-200C (designada colectivamente aquí en lo que sigue como fuente o fuentes de video 200). Los datos de cada fuente 200 de programas de video son proporcionados a un codificador 202A-202C (designados colectivamente aquí en lo que sigue como codificador o codificadores 202). Cada uno de los codificadores acepta un sello de tiempo del programa (PTS) del controlador 216. El PTS es un sello de tiempo binario envolvente que se usa para asegurar que la información del video está debidamente sincronizada con la información de audio después de codificar y descodificar. Se envía un sello de tiempo PTS con cada cuadro-1 de los datos codificados del Grupo MPEG.

En una realización del presente invento, cada codificador 202 es un codificador del Motion Picture Experts Group (MPEG-2) de la segunda generación, pero también pueden usarse otros descodificadores que implementen otras técnicas de codificación. El canal de datos puede ser sometido a un esquema de compresión similar por un codificador (no representado), pero tal compresión es usualmente o bien innecesaria o bien efectuada por el programa de ordenador en la fuente de datos del ordenador (por ejemplo, los datos fotográficos son típicamente comprimidos en "archivos *.TIF o en archivos *.JPG antes de la transmisión). Después de codificarlas mediante los codificadores 202, las señales son convertidas en paquetes de datos por un empaquetador 204A-204F (designado aquí en lo que sigue colectivamente como empaquetador o empaquetadores 204) asociados con cada fuente 200.

Los paquetes de datos se montan usando una referencia del reloj del sistema 214 (SCR), y del gestor de acceso condicional 210, el cual proporciona el SCID a los empaquetadores 204 para uso para generar los paquetes de datos. Estos paquetes de datos son luego multiplexados en datos en serie y transmitidos.

Formato y Protocolo de la Corriente de Datos Emitidos

La FIG. 3A es un diagrama de una corriente de datos representativa. El primer segmento 302 del paquete comprende información del canal de video 1 (datos que vienen desde, por ejemplo, la primera fuente de programas de video 200A). El siguiente segmento 304 del paquete comprende información de datos de ordenador que fue obtenida, por ejemplo de la fuente de datos de ordenador 208. El siguiente segmento 306 del paquete comprende información procedente del canal de video 5 (de una de las fuentes 200 de programas de video). El siguiente segmento 308 del paquete comprende información de guía de programas tal como la información proporcionada por el subsistema 206 de guía de programas. Como se ha ilustrado en la FIG. 3A, se pueden insertar en la corriente de datos paquetes nulos 310 creados por el módulo 310 de paquetes de nulos, como se desee.

La corriente de datos comprende por lo tanto una serie de paquetes procedentes de una cualquiera de las fuentes de datos en un orden determinado por el controlador 216. La corriente de datos es cifrada por el módulo de cifrado 218, modulada por el modulador 220 (usando típicamente un esquema de modulación de QPSK), y proporcionada al transmisor 222, el cual emite la corriente de datos modulada en una anchura de banda de frecuencia al satélite a través de la antena 106. El receptor 500 recibe esas señales, y usando el SCID, vuelve a montar los paquetes para regenerar el material del programa para cada uno de los canales. La FIG. 3B es un diagrama de un paquete de datos. Cada paquete de datos (por ejemplo los 302-316) tiene 130 bytes de longitud, y comprende una serie de segmentos de paquete. El primer segmento de paquete 320 comprende dos bytes de información que contienen el SCID y marcas. El SCID es un número de 12 bytes único que identifica de modo único el canal de datos del paquete de datos. Las marcas incluyen 4 bytes que se usan para controlar otras características. El segundo segmento del paquete 322 está constituido por un indicador del tipo de paquete de 4 bytes y un contador de continuidad de 4 bytes. El tipo de paquete identifica el paquete como uno de los cuatro tipos de datos (de video, de audio, de datos, o nulo). Cuando se combina con el SCID, el tipo de paquete determina como será usado el paquete de datos. El contador de continuidad incrementa una vez por cada tipo de paquetes y SCID. El siguiente segmento del paquete 324 comprende 127 bytes de datos de carga de pago, los cuales, en el caso de los paquetes 302 o 306, son una parte del programa de video proporcionado por la fuente 200 de programas de video. El segmento de paquete final 326 son los datos requeridos para efectuar la corrección de error hacia delante.

La FIG. 4 es un diagrama bloque que ilustra una realización del modulador 220. El modulador 220 comprende opcionalmente un codificador 404 de corrección de error hacia delante (FEC), el cual acepta los símbolos 402 de la primera señal y añade información redundante que se usa para reducir los errores de transmisión. Las señales codificadas 405 son moduladas por el modulador 406 de acuerdo con una primera portadora 408 para producir una señal 410 modulada de la capa superior. Los segundos símbolos 420 son igualmente proporcionados a un segundo codificador 422 de FEC opcional para producir segundos símbolos codificados 422. Los segundos símbolos codificados 422 son proporcionados a un segundo modulador 414, el cual modula las segundas señales codificadas de acuerdo con una segunda portadora 416 para producir una señal 418 modulada de la capa inferior. Las señales resultantes son luego transmitidas por uno o más transmisores 420, 422. La señal 410 modulada de la capa superior y la señal 418 modulada de la capa inferior no están por lo tanto correlacionadas, y el margen de frecuencias usado para transmitir cada capa puede solapar sustancialmente o por completo el espectro de frecuencias usado para transmitir la otra. Por ejemplo, como se ha ilustrado en la FIG. 4, el espectro de frecuencias $f_1 \rightarrow f_3$ 432 de la señal 410 de la capa superior puede solapar al espectro de frecuencias $f_2 \rightarrow f_4$ 434 de la señal 418 de la capa inferior en la banda de frecuencias $f_2 \rightarrow f_3$ 436. Sin embargo, la señal 410 de la capa superior debe ser una señal de una amplitud lo suficientemente mayor que la

de la señal de la capa inferior 418, con objeto de mantener las constelaciones de señales representadas en la FIG. 6 y en la FIG. 7. El modulador 220 puede también emplear técnicas de conformación de impulsos, (ilustrada mediante el impulso $p(t)$ 430) para tener en cuenta la limitada anchura de banda del canal. Aunque en la FIG. 4 se ha ilustrado la misma conformación del impulso $p(t)$ 430 aplicada a ambas capas, también se puede aplicar una conformación del impulso diferente a cada capa.

Receptor/Descodificador Integrado

La FIG. 5 es un diagrama bloque de un receptor/descodificador integrado (IRD) 500 (también designado aquí en lo que sigue, como alternativa, como un receptor 500). El receptor 500 comprende un sintonizador/desmodulador 504 acoplado para comunicación a una ODU 112 que tiene uno o más LNBs 502. El LNB 502 convierte la señal 118 de enlace descendente de 12,2 a 12,7 GHz procedente de los satélites 108 en, por ejemplo, una señal de 950-1450 MHz requerida por el sintonizador/desmodulador 504 del IRD 500. El LNB 502 puede proporcionar ya sea una salida dual o ya sea una salida única. La salida única del LNB 502 tiene solamente una orden de RF, mientras que la salida dual del LNB 502 tiene dos conectadores de salida de RF y puede ser usada para alimentar un segundo sintonizador 504, un segundo receptor 500, o alguna otra forma de sistema de distribución.

El sintonizador/desmodulador 504 aísla a un solo transpondedor de 24 MHz modulado digitalmente, y convierte los datos modulados en una corriente de datos digitales. A continuación se dan más detalles relativos a la desmodulación de la señal recibida.

La corriente de datos digitales es luego suministrada a un descodificador 506 de corrección del error hacia delante (FEC). Esto permite que el IRD 500 vuelva a montar los datos transmitidos por el centro 104 de enlace ascendente (el cual aplicará la corrección del error hacia delante a la señal deseada antes de la transmisión a la estación receptora del abonado 110) verificando que fue recibida la señal de datos corregida y los errores de corrección, si hay alguno. Los datos corregidos de error pueden ser alimentados desde el módulo 508 del descodificador de FEC al módulo de transporte 508 por medio de una interfaz paralela de 8 bytes.

El módulo de transporte 508 efectúa muchas de las funciones de procesado de datos efectuadas por el IRD 500. El módulo de transporte 508 procesa los datos recibidos del módulo 506 de descodificador de FEC y proporciona los datos procesados al descodificador 514 del Grupo MPEG y al descodificador 517 del Grupo MPEG de audio. En una realización del presente invento, el módulo de transporte, el descodificador de video del Grupo MPEG y el descodificador de audio del Grupo MPEG son todos implementados en circuitos integrados. Este diseño favorece tanto en cuanto al rendimiento de espacio como en cuanto al de potencia, y aumenta la seguridad de las funciones efectuadas dentro del módulo de transporte 508. El módulo de transporte 508 proporciona también un paso para comunicaciones entre el microcontrolador 510 y los descodificadores 514, 517 de video y de audio del Grupo MPEG. Como se expone con más detalle aquí en lo que sigue, el módulo de transporte trabaja también con el módulo de acceso condicional (CAM) 512 para determinar si se permite que la estación de recepción del abonado 110 tenga acceso a cierto material del programa. Los datos del módulo de transporte pueden ser también suministrados al módulo 526 de comunicaciones externas.

El CAM 512 funciona en asociación con los otros elementos para descodificar una señal cifrada del módulo de transporte 508. El CAM 512 puede ser usado también para seguimiento y facturación de estos servicios. En una realización del presente invento, el CAM 512 es una tarjeta inteligente que tiene contactos que interactúan de modo cooperativo con los contactos en el IRD 500 para pasar información. Con objeto de implementar el proceso efectuado en el CAM 512, el IRD 500, y concretamente el módulo de transporte 508, proporciona una señal de reloj al CAM 512.

Los datos de video son procesados por el descodificador 514 de video del MPEG. Usando la memoria de acceso directo (RAM) de video 536, el descodificador de video 514 del Grupo MPEG descodifica los datos de video comprimidos y los envía a un codificador o a un procesador de video 516, el cual convierte la información de video digital recibida del módulo 514 del Grupo MPEG de video en una señal de salida utilizable por una presentación o por otro dispositivo de salida. A modo de ejemplo, el procesador 516 puede comprender un codificador del TV Standards Committee (NTSC) o del Advanced Television Systems Committee (ATSC). En una realización del invento se proporcionan señales tanto de Video-S como de video ordinario (NTSC ó ATSC). También pueden utilizarse otras salidas, y son ventajosas si se procesa un programa de alta definición.

Los datos de audio son igualmente descodificados por el descodificador 517 de audio del Grupo MPEG. Los datos de audio descodificados pueden entonces ser enviados a un convertidor 518 de digital a analógico (D/A). En una realización del presente invento, el convertidor 518 de D/A es un convertidor de D/A dual, uno para los canales derecho e izquierdo. Si se desea, se pueden añadir canales adicionales para uso para el procesado de sonido envolvente o programas de audio secundarios (SAPs). En una realización del invento, el convertidor 518 de D/A separa por sí mismo la información de los canales izquierdo y derecho, así como cualquier información de un canal adicional. Pueden igualmente ser soportados otros formatos de audio. Por ejemplo, pueden ser soportados otros formatos de audio tal como el de multicanal DOLBY DIGITAL.AC-3.

Puede verse una descripción de los procesos efectuados en la codificación y en la descodificación de corrientes de video, en particular con respecto a la codificación/descodificación del Grupo MPEG y de JPEG, en el Capítulo 8 de la

publicación "Digital Television Fundamentals" de Michael Robin y Michel Poulin, McGraw-Hill, 1998, la cual queda aquí incorporada por su referencia.

5 El microcontrolador 510 recibe y procesa señales de mando desde el control remoto 524, una superficie de teclado de IRD 500, y/o de otro dispositivo de entrada. El microcontrolador recibe las órdenes para efectuar sus operaciones desde una memoria de programación del procesador, la cual almacena permanentemente tales instrucciones para cumplimentar tales órdenes. La memoria de programación del procesador puede comprender una memoria de solo lectura (ROM) 538, una memoria de solo lectura programable borrable (EEPROM) 522, o un dispositivo de memoria similar. El microcontrolador 510 controla también los demás dispositivos digitales del IRD 500 por medio de la dirección y de líneas de datos (designadas por "A" y "D" respectivamente en la FIG. 5).

10 El modem 540 conecta con la línea telefónica del cliente a través del puerto 120 de la PSTN. Por ejemplo, llama al proveedor de programas y transmite la información de compra del cliente para fines de facturación, y/o otras informaciones. El modem 540 es controlado por el microprocesador 510. El modem 540 puede dar salida a datos para otro puerto de I/O (Entrada/Salida) incluyendo los puertos de I/O de ordenador en paralelo y en serie.

15 El presente invento comprende también una unidad de almacenamiento local, tal como el dispositivo de almacenamiento de video 532, para almacenar los datos de video y/o de audio obtenidos del módulo de transporte 508. El dispositivo 532 de almacenamiento de video puede ser un disco duro, un disco compacto de leer/escribir de DVD, una RAM de estado sólido, o cualquier otro medio de almacenamiento. En una realización del presente invento, el dispositivo 532 de almacenamiento de video es un disco duro con capacidad de lectura/escritura en paralelo especializada, de modo que pueden ser leídos los datos del dispositivo de almacenamiento de video 532 y ser escritos en el dispositivo 532 al mismo tiempo. Para conseguir esto, puede usarse una memoria intermedia adicional accesible por el almacenamiento de video 532 o su controlador. Opcionalmente, se puede usar un procesador de almacenamiento de video 530 para gestionar el almacenamiento y la recuperación de los datos de video del dispositivo de almacenamiento de video 532. El procesador de almacenamiento de video 530 puede comprender también memoria para almacenamiento intermedio de datos que pasen a y fuera del dispositivo 532 de almacenamiento de video. Como alternativa, o en combinación con lo anterior, pueden usarse una pluralidad de dispositivos de almacenamiento de video 532. También como alternativa, o en combinación con lo que antecede, el microcontrolador 510 puede efectuar además las operaciones requeridas para almacenar y/o recuperar datos de video y otros en el dispositivo de almacenamiento de video 532.

20 25 30 La entrada al módulo de procesamiento de video 516 puede ser suministrada directamente como una salida de video a un dispositivo de visión tal como un monitor de video o de ordenador. Además, las salidas de video y/o de audio pueden ser suministradas a un modulador 534 de RF para producir una salida de RF y/o 8 bandas laterales de vestigio VSB adecuadas como una señal de entrada a un sintonizador de televisión terrestre digital. Esto permite operar al receptor 500 con televisiones sin una salida de video.

35 Cada uno de los satélites 108 comprende un transpondedor, el cual acepta la información de programas desde el centro de enlace ascendente 104, y retransmite esa información a la estación 110 de recepción del abonado. Se usan técnicas de multiplexado conocidas, de modo que se pueden proporcionar al usuario múltiples canales. Estas técnicas de multiplexado incluyen, a modo de ejemplo, varias técnicas de multiplexado estadístico u otro de dominio en el tiempo y multiplexado de polarización. En una realización del invento, un solo transpondedor que opera en una sola banda de frecuencia lleva una pluralidad de canales identificados mediante el respectivo servicio de identificación de canal (SCID).

40 45 Preferiblemente, el IRD 500 recibe también y almacena una guía de programas en una memoria disponible para el microcontrolador 510. Típicamente, la guía de programas es recibida en uno o más paquetes de datos en la corriente de datos desde el satélite 108. Se puede tener acceso a la guía de programa y buscar en ella mediante la ejecución de pasos de operación adecuados implementados por el microcontrolador 510 y almacenados en el procesador de ROM 538. La guía de programas puede incluir datos para representar números de canal del espectador a transpondedores de satélite e identificaciones de canal de servicio (SCIDs), y también proporcionar información listada de programas de TV al abonado 122 que identifique los acontecimientos programados.

La funcionalidad implementada en el IRD 500 representado en la FIG. 5 puede ser implementada por uno o más módulos de equipo físico, uno o más módulos de software que definan instrucciones efectuadas por un procesador, o por una combinación de ambos.

50 55 El presente invento proporciona la modulación de señales de diferentes niveles de potencia y ventajosamente de las señales que sean no-coherentes de cada capa. Además, se puede efectuar la modulación independiente y la codificación de las señales. Se capacita la compatibilidad retrospectiva con los receptores heredados, tal como en un receptor de clave de cambio de fase en cuadratura (QPSK) y se proporcionan nuevos servicios a los nuevos receptores. Un nuevo receptor típico del presente invento usa dos desmoduladores y un remodulador, como se describirá en detalle aquí en lo que sigue.

En una realización compatible retrospectivamente típica del presente invento, la señal de QPSK heredada es reforzada en potencia a un nivel de transmisión (y de recepción) más alto. El receptor heredado o antiguo no será capaz de diferenciar la nueva señal de la capa más baja del ruido gaussiano blanco aditivo, y por consiguiente opera de la manera

usual. La selección óptima de los niveles de potencia de la capa está basada en acomodar el equipo antiguo así como la nueva producción y servicios deseados.

La señal en capas combinadas es desmodulada y descodificada desmodulando para ello en primer lugar la capa superior para retirar la capa superior. La señal en capas estabilizada puede entonces hacer que los símbolos descodificados de FEC de la capa superior y de la capa superior de salida sean comunicados al transporte de la capa superior. Los símbolos de la capa superior son también empleados en un remodulador, para generar una señal de capa superior idealizada. La señal de la capa superior idealizada es entonces sustraída de la señal en capas estable para revelar la señal de la capa inferior. La señal de la capa inferior es entonces desmodulada y descodificada con FEC y comunicada al transporte de la capa inferior.

La nueva señal de la capa inferior es proporcionada con una portadora suficiente para que la relación de ruido térmico funcione adecuadamente. La nueva señal de capa inferior y la señal antigua reforzada no son coherentes cada una con respecto a la otra. Por lo tanto, la nueva señal de la capa inferior puede ser implementada con una TWTA diferente, e incluso desde un satélite diferente. El formato de la nueva señal de la capa inferior es también independiente del formato antiguo, por ejemplo, puede ser QPSK ó 8PSK, usando el código de FEC convencional concatenado o usando un nuevo código Turbo. La señal de la capa inferior puede incluso ser una señal analógica.

Se pueden usar señales, sistemas y métodos en que se haga uso del presente invento para suplementar una transmisión preexistente compatible con el equipo físico de recepción antiguo en una aplicación compatible retrospectivamente o como parte de una arquitectura de modulación en capas previamente planeada que proporcione una o más capas adicionales en el momento presente o en una fecha posterior.

Señales en Capas

Las FIGS. 6A, 6C ilustran la relación básica de las capas de señal en una transmisión de modulación en capas. En estas figuras, el eje geométrico horizontal es para el valor en fase, o "I" del símbolo presentado, y el eje geométrico vertical para la cuadratura del valor "Q" del símbolo presentado. En la FIG. 6A se ha ilustrado una primera constelación 600 de señales en capa de una señal de transmisión en que se muestran los puntos de las señales o símbolos 602. Esta constelación de señales en la FIG. 6B ilustra la segunda constelación de señales en capas de símbolos 604 sobre la primera constelación de señales en capas 600 donde las capas son coherentes. En la FIG. 2C se ha ilustrado una segunda capa de señales 606 de una segunda capa de transmisión sobre la primera constelación de capas en donde las capas pueden ser no coherentes. La segunda capa 606 gira alrededor de la primera constelación de capas 602 debido a las frecuencias relativas de modulación de las dos capas en una transmisión no coherente. Tanto la capa primera como la segunda giran alrededor del origen debido a la primera frecuencia de modulación de capas, como se describe por el camino 608.

Las FIGS. 7A-7C son diagramas que ilustran una constelación de señales de una segunda capa de transmisión sobre la primera capa de transmisión después de la desmodulación de la primera capa. La FIG. 7A representa la constelación 700 antes del primer bucle de recuperación de la portadora (CRL) y la FIG. 7B muestra la constelación 704 después del CRL. En este caso, los puntos de la señal de la segunda capa son realmente anillos 702. La FIG. 7C representa una distribución de fases de la señal recibida con respecto a los nodos 602.

Las frecuencias de modulación relativas hacen que la segunda constelación de capas gire alrededor de los nodos de la primera constelación de capas. Después del CRL de la segunda capa se elimina esa rotación. El radio de la segunda constelación de capas se determina mediante su nivel de potencia. El grosor de los anillos 702 viene determinado por la relación de portadora a ruido (CNR) de la segunda capa. Puesto que las dos capas son no coherentes, se puede usar también la segunda capa para transmitir señales analógicas o digitales.

La FIG. 8 es un diagrama en el que se muestra un sistema para transmitir y recibir señales de modulación en capas. Se usan transmisores separados 107A, 107B, que pueden estar situados en cualquier plataforma adecuada, tal como en los satélites 108A, 108B, para transmitir de modo no coherente las diferentes capas de una señal del presente invento. Las señales de enlace ascendente son típicamente transmitidas a cada satélite 108A, 108B desde uno o más transmisores 105 por medio de una antena 106. Las señales en capas 808A, 808B (señales de enlace descendente) son recibidas en las antenas de receptor 112A, 112B, tales como los platos de antena para satélite, cada uno con un nuevo bloque de bajo ruido (LNB) 810A, 810B, donde son entonces acopladas en receptores/descodificadores integrados (IRDs) 500, 802. Puesto que las capas de la señal pueden ser transmitidas de modo no coherente, se pueden añadir capas de transmisión separadas en cada momento usando diferentes satélites 108A, 108B u otras plataformas adecuadas, tales como plataformas basadas en tierra o a gran altitud. Por consiguiente, cualquier señal compuesta, incluyendo las nuevas capas de señales adicionales, será compatible de modo retrospectivo con los receptores antiguos 500, los cuales no considerarán las nuevas capas de señal. Para asegurar que las señales no interfieren, la señal combinada y el nivel de ruido para la capa inferior deben estar a la altura o por debajo del nivel de ruido permitido para la capa superior.

Las aplicaciones de la modulación en capas incluyen aplicaciones compatibles retrospectivamente y compatibles no retrospectivamente. Como "compatibles retrospectivamente" en este sentido, se alude a sistemas en los cuales los receptores antiguos 500 no se hayan quedado obsoletos debido a la capa o capas de señales adicionales. En vez de

eso, incluso aunque los receptores antiguos 500 sean incapaces de descodificar la capa o capas de señales adicionales, son capaces de recibir la señal modulada en capas y descodificar la capa de la señal original. En estas aplicaciones, la arquitectura del sistema preexistente se acomoda mediante la arquitectura de las capas de señales adicionales. Como "compatible no retrospectivamente" se describe una arquitectura de sistema que hace uso de la modulación en capas, pero el esquema de modulación y codificación empleado es tal que el equipo previamente existente es incapaz de recibir y descodificar la información en la capa o capas de señales adicionales.

Los IRDs 500 legados preexistentes descodifican y hacen uso de los datos solamente de la capa (o capas) que están diseñadas para recibir, sin ser afectados por las capas adicionales. El presente invento puede ser aplicado a los servicios por satélite directos existentes, los cuales son emitidos a usuarios individuales con objeto de hacer posibles características y servicios adicionales con nuevos receptores, sin que resulten afectados perjudicialmente los receptores legados y sin que se requieran frecuencias de señal adicionales.

Desmodulador y Descodificador

La FIG. 9 es un diagrama bloque que representa una realización de un IRD 802 mejorado capaz de recibir señales de modulación en capas. El IRD 802 mejorado incluye un camino de realimentación 902 en el cual los símbolos de FEC descodificados son realimentados a un sintonizador/desmodulador 904 modificado mejorado y al módulo de transporte 908.

La FIG. 10A es un diagrama bloque de una realización del sintonizador/modulador 904 mejorado y el codificador de FEC 506. La FIG. 10A representa la recepción en donde se efectúa la sustracción de capa en una señal en donde la portadora superior ha sido desmodulada. La capa superior de la señal 1016 combinada recibida del LNB 502, la cual puede contener un formato de modulación legado, se proporciona a, y se procesa por, un desmodulador 1004 de la capa superior, para producir la señal desmodulada estable 1020. La señal desmodulada 1020 es alimentada a un descodificador 102 de FEC acoplado para comunicación, el cual descodifica la capa superior para producir los símbolos de la capa superior que son dados de salida a un transporte de la capa superior. Los símbolos de la capa superior son también usados para generar una señal de capa superior idealizada. Los símbolos de la capa superior pueden ser producidos a partir del descodificador 1002 después del descodificador de Viterbi ($BER < 10^{-3}$ o aproximadamente), o bien después de la descodificación de Reed-Solomon (RS) ($BER < 10^{-9}$ o aproximadamente), en operaciones de descodificación típicas conocidas por quienes sean expertos en la técnica. Los símbolos de la capa superior son proporcionados por medio del camino de realimentación 902 desde el descodificador 1002 de la capa superior a un remodulador 1006 y después a un módulo, el cual aplica la distorsión que sería introducida por la red de enlace descendente vía satélite. Esto produce efectivamente una señal de capa superior idealizada. La señal de nivel superior idealizada es restada de la señal de la capa superior desmodulada 1020.

Con objeto de que la sustracción deje una señal de capa inferior limpia, la señal de la capa superior debe ser reproducida con precisión. La señal modulada puede haber sido distorsionada, por ejemplo, por falta de linealidad en el desplazamiento a través del amplificador del tubo de onda (TWTA) o por otras distorsiones no lineales o lineales en el canal de transmisión. Los efectos de la distorsión son estimados a partir de la señal recibida después del hecho o de las características de TWTA, las cuales pueden ser descargadas en el IRD en mapas de AM-AM y/o de AM-PM 1014.

Un sustractor 1012 sustrae entonces la señal de la capa superior idealizada de la señal desmodulada estable 1020. Esto deja la señal de la capa segunda de más baja potencia. El sustractor 1012 puede incluir una función de almacenamiento intermedio o de retardo para retener la señal desmodulada estable 1020 mientras está siendo construida la señal de la capa superior idealizada. La señal de la segunda capa es desmodulada por el desmodulador 1010 de nivel más bajo y es descodificada con FEC por el descodificador 1008 de acuerdo con su formato de señal, para producir los símbolos de la capa inferior, los cuales son proporcionados a un módulo de transporte similar al 508 pero para la capa inferior.

La FIG. 10B representa otra realización en la que la sustracción de la capa se efectúa en la señal en capas recibida. En este caso, el desmodulador 1004 de la capa superior produce la señal 1022 portadora superior. Una señal 1022 portadora superior es proporcionada al remodulador 1006. El remodulador 1006 proporciona la señal remodulada al planificador 1018 de distorsión no lineal, el cual produce efectivamente una señal de capa superior idealizada. A diferencia de la realización ilustrada en la FIG. 10A, en esta realización la señal de la capa superior idealizada incluye la portadora de la capa superior para sustracción de la señal 416 combinada recibida.

A quienes sean expertos en la técnica se les ocurrirán otros métodos equivalentes de sustracción de capas y el presente invento no deberá considerarse limitado a los ejemplos aquí proporcionados. Además, quienes sean expertos en la técnica comprenderán que el presente invento no queda limitado a dos capas; pueden estar incluidas capas adicionales. Las capas superiores idealizadas son producidas por remodulación a partir de sus respectivos símbolos de capa y sustraídas. La sustracción puede ser efectuada en ya sea la señal combinada recibida o ya sea una señal desmodulada. Finalmente, no es necesario que todas las capas de señal sean transmisiones digitales; la capa más baja puede ser una transmisión analógica.

El análisis que sigue describe el ejemplo de desmodulación y descodificación de dos capas. Será evidente para quienes sean expertos en la técnica que se pueden desmodular y descodificar capas adicionales de una manera similar. La señal combinada que llega viene representada como:

$$s_{UL}(t) = f_U \left(M_U \exp(j\omega_U t + \theta_U) \sum_{m=-\infty}^{\infty} S_{Um} p(t - mT) \right) + f_L \left(M_L \exp(j\omega_L t + \theta_L) \sum_{m=-\infty}^{\infty} S_{Lm} p(t - mT + \Delta T_m) \right) + n(t)$$

5

donde, M_U es la magnitud de la señal de la capa superior QPSK y M_L es la magnitud de la señal de la capa inferior QPSK, y $M_L \ll M_U$. Las frecuencias de señal y las fases para las señales de la capa superior y de la capa inferior son respectivamente ω_U, θ_U y ω_L, θ_L , respectivamente. La desalineación de temporización de símbolos entre las capas superior e inferior es ΔT_m . La expresión "p(t-mT)" representa la versión desplazada en el tiempo del filtro de conformación del pulso p(t)430 empleado en la modulación de la señal. Los símbolos de QPSK S_{Um} y S_{Lm} son

10

elementos de $\left\{ \exp(j \frac{n\pi}{2}), n = 0,1,2,3 \right\}$. Por $f_U(\cdot)$ y $f_L(\cdot)$ se designan las funciones de distorsión de las TWTAs para las respectivas señales.

Ignorando $f_U(\cdot)$ y $f_L(\cdot)$ y el ruido de $n(t)$, la fórmula que sigue representa la salida del desmodulador 1004 en el descodificador 1002 de FEC después de retirar la portadora superior:

$$s'_{UL}(t) = M_U \sum_{m=-\infty}^{\infty} S_{Um} p(t - mT) + M_L \exp\{j(\omega_L - \omega_U)t + \theta_L - \theta_U\} \sum_{m=-\infty}^{\infty} S_{Lm} p(t - mT + \Delta T_m)$$

15

debido a la diferencia de magnitudes entre M_U y M_L , el descodificador 402 de la capa superior no toma en consideración el componente M_L del $s'_{UL}(t)$.

Después de restar la capa superior de $S_{UL}(t)$ en el sustractor 1012, queda lo siguiente:

$$s_L(t) = M_L \exp\{j(\omega_L - \omega_U)t + \theta_L - \theta_U\} \sum_{m=-\infty}^{\infty} S_{Lm} p(t - mT + \Delta T_m)$$

20

Cualesquiera efectos de la distorsión tales como los efectos de falta de linealidad de la TWTA son estimados para sustracción de la señal en una realización típica del presente invento. Las frecuencias de la capa superior y de la capa inferior son sustancialmente iguales. Se pueden obtener mejoras significativas en el rendimiento del sistema usando para ello desplazamiento de frecuencias entre capas.

25

Usando el presente invento, la modulación en dos capas compatible retrospectiva con la QPSK duplica la capacidad del sistema legado actual, que usa un modo de operar legado con un régimen de código 6/7 FEC. Este aumento de la capacidad es obtenido por la transmisión de una portadora de capa superior compatible hacia atrás por medio de una TWTA que es aproximadamente 6,2 dB superior a la potencia usada en el sistema legado. Las nuevas señales en QPSK de la capa inferior pueden ser transmitidas desde un transmisor separado, o bien desde un satélite diferente, por ejemplo.

30

Los sistemas que usen la modulación 16QAM podrían ser diseñados para proporcionar una capacidad de transmisión similar, pero este formato de modulación requiere amplificadores de transmisión razonablemente lineales. Con modulación en capas, se pueden usar para cada capa amplificadores separados, y si se usan señales en QPSK para estas capas, entonces pueden usarse estos amplificadores de un modo no lineal más eficiente. Esta modulación en capas elimina la necesidad de amplificadores de tubo de onda de desplazamiento lineal menos eficientes (TWTAs) como se necesitan para 16QAM. Además, no se impone penalidad alguna por error de fase en la modulación de más alto orden, tal como la de 8PSK y la de 16QAM.

35

Aplicaciones Compatibles Retrospectivamente

La FIG. 11A representa los niveles de potencia relativa 1100 de realizaciones que sirven de ejemplos del presente invento, sin tener en cuenta los efectos de la lluvia. La acomodación de los efectos de amortiguación por la lluvia pasa por la inclusión de un margen de cielo limpio en el cálculo de los niveles de potencia de transmisión, y esto es tratado en una sección posterior. La FIG. 11A no es un dibujo a escala. Esta realización duplica la tasa 6/7 de capacidad existente mediante el uso de una TWTA cuyo nivel de potencia es de 6,2 dB por encima de una TWTA preexistente (legado), y una segunda TWTA cuyo nivel de potencia es 2 dB por debajo de la de una TWTA preexistente (legado). Esta

40

realización hace uso de capas QPSK superior e inferior, las cuales no son coherentes. También se usa un código FEC de tasa de 6/7 para ambas capas. En esta realización, la señal de la QPSK legada, señal 1102, se usa para generar la capa superior 1104, y una nueva capa QPSK es la capa inferior 1110. La señal 1102 de la QPSK legada tiene un umbral de la CNR (es decir, de la relación de portadora a ruido requerida para conseguir actuaciones aceptables) de aproximadamente 7 dB. Esta nueva capa 1110 de QPSK más baja tiene un umbral de la CNR de aproximadamente 5 dB en el presente invento, y por tanto, se establece primero el nivel de potencia de transmisión 1110 de la capa QPSK inferior, de modo que la potencia de la capa inferior recibida es 5 dB superior al nivel de potencia de ruido térmico de referencia 1108. Tanto el ruido térmico como la señal de la capa inferior aparecerán como ruido en la señal QPSK legada de la capa superior, y esa potencia de ruido combinada debe ser tomada en cuenta cuando se establezca el nivel de potencia de transmisión de la capa superior. La potencia combinada de estas dos fuentes de ruido 1106 es 6,2 dB superior al suelo 1108 de ruido térmico de referencia. La señal QPSK legada debe entonces ser reforzada en su potencia en aproximadamente 6,2 dB por encima del nivel 1102 de potencia de la señal legada, que lleve el nuevo nivel de potencia a aproximadamente 13,2 dB como la capa superior 1104. De este modo, la potencia de la señal de la capa inferior combinada y la potencia del ruido térmico se mantienen en o por debajo del suelo 1106 de ruido tolerable de la capa superior. Es de hacer notar que el invento puede ser extendido a múltiples capas con modulaciones, codificación y tasas de código mezcladas.

En una realización alternativa de esta aplicación compatible retrospectivamente, se puede usar una tasa de código FEC de 2/3 tanto para la capa superior como para la capa inferior 1104, 1110. En este caso, el umbral de CNR de la señal 1102 de QPSK legada (con una tasa de código de FEC de 2/3) es de aproximadamente 5,8 dB. La señal 1102 legada es reforzada en aproximadamente 5,3 dB hasta aproximadamente 11,1 dB (4,1 dB por encima de la señal 1102 de QPSK legada con una tasa de código FEC de 2/3) para formar la capa 1104 superior de QPSK. La nueva capa 1110 de QPSK inferior tiene un umbral CNR de aproximadamente 3,8 dB. La señal total y el ruido de la capa inferior 1110 se mantienen en o por debajo de aproximadamente 5,3 dB, la señal total y el ruido de la capa inferior 1110 se mantienen en o por debajo de aproximadamente 3,8 dB, el suelo de ruido tolerable 1106 de la capa QPSK superior. En este caso, la capacidad total es de 1,55 veces la de la señal 1102 legada.

En otra realización de una aplicación compatible retrospectivamente del presente invento, las tasas de código entre las capas superior e inferior 1104, 1110 pueden ser mezcladas. Por ejemplo, la señal 502 de QPSK legada puede ser reforzada en aproximadamente 5,3 dB hasta aproximadamente 12,3 dB sin cambio de la tasa de código de FEC en 6/7 para crear la capa 1104 de QPSK superior. La nueva capa 1110 de QPSK inferior puede usar una tasa de código de FEC de 2/3 con un umbral de CNR de aproximadamente 3,8 dB. En este caso, la capacidad total es de 1,78 veces la de la señal 1102 legada.

Aplicaciones Compatibles No Retrospectivas

Como se ha visto anteriormente, el presente invento puede ser también usado en aplicaciones "compatibles no retrospectivas". En un primer ejemplo, se usan dos capas 1104, 1110 de QPSK, cada una de una tasa de código FEC de 2/3. La capa 504 de QPSK superior tiene un umbral de CNR de aproximadamente 4,1 dB por encima de su suelo de ruido 1106, y la capa inferior de QPSK 1110 tiene también un umbral de CNR de aproximadamente 4,1 dB. La potencia combinada del ruido térmico y la capa 1110 de QPSK inferior es de aproximadamente 5,5 dB por encima del nivel 1108 de ruido térmico de referencia. La CNR para la señal de QPSK superior 1104 es entonces establecida en aproximadamente 9,6 dB (4,1 + 5,5 dB), simplemente a 2,4 dB por encima de la tasa 6/7 de la señal de QPSK legada. La capacidad es por tanto un factor de aproximadamente 1,56, si se compara con la tasa 6/7 legada.

La FIG. 11B representa los niveles de potencia relativa de una realización alternativa en la que ambas capas, la superior y la inferior 1104, 1110, pueden estar por debajo del nivel 1102 de la señal legada. Las dos capas 1104, 1110 de QPSK hacen uso de una tasa de código de 1/2. Las capas inferior y superior de QPSK tienen un umbral de la CNR de aproximadamente 2,0 dB. En este caso, la capa 1104 superior de QPSK está aproximadamente a 2,0 dB por encima del suelo de ruido 1106, de aproximadamente 4,1 dB. El nivel de 6,1 dB de la señal de la capa superior es inferior al de 7,0 dB para la señal legada. La capacidad de esta realización es un factor de aproximadamente 1,17, si se compara con la tasa de legado 6/7.

Entorno de Equipo Físico (hardware)

La FIG. 12 ilustra un sistema 1200 de ordenador que sirve de ejemplo, que podría ser usado para implementar módulos o funciones seleccionados del presente invento. El ordenador 1202 comprende un procesador 1204 y una memoria, tal como una memoria de acceso directo (RAM) 1206. El ordenador 1202 está acoplado operativamente a una presentación 1222, la cual presenta imágenes tales como ventanas al usuario en una interfaz de usuario gráfica 1218B. El ordenador 1202 puede estar acoplado a otros dispositivos, tales como un teclado 1214, un dispositivo de ratón 1216, una impresora, etc. Por supuesto, quienes sean expertos en la técnica reconocerán que con el ordenador 1202 se puede usar cualquier combinación de los anteriores componentes o cualquier número de diferentes componentes, periféricos, y otros dispositivos.

Generalmente, el ordenador 1202 opera bajo control de un sistema operativo 1208 almacenado en la memoria 1206, y hace interfaz con el usuario para aceptar entradas y órdenes y para presentar resultados a través de un módulo 1218A de interfaz de usuario gráfica (GUI). Aunque el módulo 1218A de GUI se ha representado como un módulo separado,

las instrucciones para efectuar las funciones del GUI pueden ser residentes o estar distribuidas en el sistema operativo 1208, en el programa de ordenador 1210, o bien implementadas con memoria y procesadores para fines especiales. El ordenador 1202 implementa también un compilador 1212 que permite que un programa de aplicación 1210, escrito en un lenguaje de programación tal como en COBOL, C++, FORTRAN, u otro lenguaje, sea trasladado al procesador 1204 en su código legible. Después de completado, la aplicación 1210 tiene acceso y manipula a los datos almacenados en la memoria 1206 del ordenador 1202 usando las relaciones y la lógica que fue generada usando el compilador 1212. El ordenador 1202 comprende también opcionalmente un dispositivo de comunicación externo tal como un modem, un enlace por satélite, una tarjeta Ethernet, u otro dispositivo para comunicar con otros ordenadores.

En una realización, las instrucciones para implementar el sistema operativo 1208, el programa de ordenador 1210 y el compilador 1212 están tangiblemente incorporadas en un medio legible por ordenador, por ejemplo, en un dispositivo de almacenamiento de datos 1220, el cual podría incluir uno o más dispositivos de almacenamiento de datos fijo o removible, tal como un disco "Zip" de capacidad media ("zip drive"), un disco flotante 1224, un disco duro, un CD-ROM, un dispositivo de cinta, etc. Además, el sistema operativo 1208 y el programa de ordenador 1210 comprenden instrucciones las cuales, cuando se leen y se ejecutan mediante el ordenador 1202, hacen que el ordenador 1202 efectúe los pasos necesarios para implementar y/o usar el presente invento. El programa de ordenador 1210 y/o las instrucciones operativas pueden también ser incorporados tangiblemente en la memoria 1206 y/o en el dispositivo de comunicaciones de datos 1230, haciendo con ello un producto de programa de ordenador o bien un artículo de manufactura de acuerdo con el invento. Como tales, los términos "artículo de manufactura" "dispositivo de almacenamiento de programas" y "producto de programa de ordenador", tal como aquí se usan, están destinados a abarcar un programa de ordenador accesible desde cualquier dispositivo o medio legible por ordenador.

Quienes sean expertos en la técnica reconocerán que se pueden efectuar muchas modificaciones en esta configuración sin rebasar el alcance del presente invento. Por ejemplo, quienes sean expertos en la técnica reconocerán que con el presente invento se puede usar cualquier combinación de los anteriores componentes, o cualquier número de diferentes componentes, periféricos, y otros dispositivos.

Usando las técnicas aquí descritas, como se pondrá de manifiesto más adelante, el margen de cielo limpio requerido para la capa 402 de señal superior es considerablemente menor que el margen de cielo limpio que se requeriría si se enviara la señal por sí misma. También es considerablemente menor que el requerido para la capa de señal inferior 420. En una condición de atenuación por lluvia, las capas superior e inferior se amortiguan juntas. Por consiguiente, la fuente primaria de ruido para la capa de señal superior 402 se atenúa tan rápidamente como la propia señal de la capa superior, permitiendo un margen de cielo limpio de la capa superior significativamente reducido. El presente invento aprovecha al máximo este efecto. A la inversa, el margen de cielo limpio requerido para la capa inferior debe ser establecido suficientemente alto para tener en cuenta la atenuación del portador de la capa inferior con relación a su fuente primaria de ruido, al ruido térmico, el cual aumenta con la lluvia. Por consiguiente, el margen de cielo limpio requerido para la capa de señal superior 402 puede ser reducido si se compara con el que se requiere para la capa de señal inferior 420. Como alternativa, o en combinación, se puede usar la técnica que se describe en lo que sigue para diseñar un sistema de modulación en capas que proporcione más altos niveles de disponibilidad para la capa superior que para la capa inferior.

Margen de Cielo Limpio

En la distribución de potencia a las portadoras de la capa superior e inferior anteriormente consideradas (FIGS. 11A y 11B) no fueron considerados los efectos de la atenuación por la lluvia sobre las señales de la capa superior e inferior. Estos efectos pueden ser grandes, actuando tanto para disminuir el nivel de señal deseado como para aumentar el nivel de ruido. En el caso de modulación en capas, estos efectos deben ser cuidadosamente considerados para cada capa. Se añade a cada capa potencia adicional para acomodar los efectos de la lluvia, y la potencia añadida es denominada margen de cielo limpio (CSM). En la técnica que se describe en lo que sigue, el diseño de la capa de señal superior 410 aprovecha el hecho de que tanto la capa de señal inferior 418 como la capa de señal superior 410 son atenuadas en una cantidad igual en una condición de atenuación por lluvia. Además, puesto que la capa de señal superior 410 debe ser bloqueada y reconstruida antes de que la capa de señal inferior 418 pueda ser desmodulada exactamente, la capa 418 de señal inferior puede no ser más "disponible", en un sentido estadístico, que la capa de señal superior 410. En una condición crítica en la que las capas de señal superior y de señal inferior tengan exactamente la misma disponibilidad, ambas señales caerán a sus umbrales operativos respectivos simultáneamente cuando la atenuación por lluvia alcance un valor suficiente.

Capas de Señal Superior e Inferior con Igual Disponibilidad

Suponiendo que el nivel de ruido térmico en cielo limpio esté representado por N , y que el nivel de umbral de portadora a ruido venga dado por T_L y por T_U , para las capas de señal inferior y superior 418, 410, respectivamente, los niveles de umbral T_L y T_U pueden ser definidos de una serie de formas. Para fines de ilustración, en el análisis que sigue se supone que los niveles de umbral T_L y T_U son umbrales cuasi libres de error. Este es el punto operativo en donde el número de errores detectados en la salida del descodificador 506 de corrección de error hacia delante ha caído hasta aproximadamente un error por hora o un error por día.

5 Suponiendo de momento que hay un requisito de disponibilidad de enlace dado a partir de ese valor, se pueden determinar valores adecuados para la atenuación por lluvia y ruido por lluvia. Definiendo un parámetro α para que represente la cantidad de la atenuación por lluvia presente ($\alpha \leq 1$), y que β represente el aumento en ruido debido a la lluvia atmosférica ($\beta > 1$), que son ambos una función de la disponibilidad de señal deseada, la potencia de portadora C_L de la capa de señal inferior 418 requerida para proporcionar la disponibilidad de enlace necesaria, puede determinarse a partir de la expresión:

$$T_L = \frac{\alpha C_L}{\beta N} \quad \text{Ecuación (1)}$$

Resolviendo para C_L

$$C_L = \frac{\beta N T_L}{\alpha} \quad \text{Ecuación (2)}$$

10 Los valores α y β son ambos función de la disponibilidad deseada, y se definen típicamente mediante el uso de modelos de atenuación por lluvia que se suponen fácilmente conocidos por quien sea experto en la técnica.

Un margen de cielo limpio (definido como una relación de la portadora de cielo limpio a la relación de ruido más interferencia y la relación del umbral de la portadora al ruido más la interferencia) puede ser calculada para cada capa. Para la capa de señal inferior 418, el margen de cielo limpio M_L es:

$$M_L = \frac{C_L}{N T_L} = \frac{\beta}{\alpha} \quad \text{Ecuación(3)}$$

15

La potencia de la portadora C_U de la capa de señal superior 410 necesaria para proporcionar la disponibilidad de enlace requerida, se calcula observando que cuando la portadora de la capa de señal superior está en una condición de umbral, la portadora es atenuada por el factor α . El término ruido, sin embargo, contiene tanto la potencia de ruido térmico de enlace (aumentada por la lluvia) como la potencia de la portadora de nivel inferior (atenuada por la lluvia). Por consiguiente, la potencia C_L de potencia de la capa superior necesaria para proporcionar la disponibilidad de enlace requerida se define por la ecuación (4) que sigue:

20

$$T_U = \frac{\alpha C_U}{\beta N + \alpha C_L} \quad \text{Ecuación (4)}$$

Usando esta expresión, la potencia de la portadora de nivel superior C_U se describe en la Ecuación (5) que sigue:

$$C_U = \frac{(\beta N + \alpha C_L) T_U}{\alpha} \quad \text{Ecuación (5)}$$

25 Y el margen de cielo limpio para la capa de señal superior (410) se hace:

$$f_U = \frac{C_U}{N + C_L} \frac{1}{T_U} = \frac{C_U}{N + C_L} \frac{\beta N + \alpha C_L}{\alpha C_U} = \frac{\left(\frac{C_L}{N} + \frac{\beta}{\alpha} \right)}{\left(\frac{C_L}{N} + 1 \right)} \quad \text{Ecuación (6)}$$

Teniendo en cuenta que

$$\frac{C_L}{N} = \frac{\beta T_L}{\alpha} \quad \text{Ecuación (7)}$$

30 El margen de cielo limpio de la capa de señal superior puede escribirse en términos del umbral de la capa de señal inferior, como se ha indicado en la Ecuación (8) que sigue.

$$M_U = \frac{\frac{\beta}{\alpha}(T_L + 1)}{\frac{\beta}{\alpha}\left(T_L + \frac{\alpha}{\beta}\right)} = \frac{(T_L + 1)}{\left(T_L + \frac{\alpha}{\beta}\right)}$$

Ecuación (8)

En una aplicación típica, los valores de α podrían cambiar desde -1 hasta -5 dB y los valores para β podrían variar desde 2 hasta 4 dB, dependiendo de la disponibilidad deseada. Puesto que el margen de cielo limpio de nivel inferior es $(\beta - \alpha)$, cuando se expresan en dB, entonces puede verse que los márgenes de cielo limpio de la capa de señal inferior típicos estarán comprendidos entre 3 y 9 dB, dependiendo de la disponibilidad deseada.

De ordinarios sería de esperar que el margen de cielo limpio de la capa de señal inferior fuese también el requerido para la capa de señal superior, lo cual requeriría muy alta potencia de transmisor. Sin embargo, esto no es necesario ya que las capas de señal superior e inferior se atenúan juntas con la lluvia, como se ha ilustrado en la derivación para el margen de cielo limpio de la capa superior en la ecuación (4) anterior. Por consiguiente, el margen de cielo limpio para la capa superior depende del umbral de portadora a ruido y en una menor medida de la relación de α a β . El margen de cielo limpio de la capa superior requerido es típicamente de 1 dB o menor, y se aproxima a 0 dB al aumentar el umbral de portadora a ruido de la capa de señal inferior 420.

La FIG. 13 es un diagrama que muestra ambos márgenes de cielo limpio, el de la capa de señal superior y el de la capa de señal inferior, como función del umbral de la capa inferior y de la disponibilidad deseada. El gráfico 1302 muestra el margen de cielo limpio de la capa inferior como una función del umbral de la relación de portadora a ruido de la capa de señal inferior para una disponibilidad de la capa de señal más baja de 99,95%. Los gráficos 1304 – 1308 muestran lo mismo para disponibilidades de la capa de señal inferior de 99,90%, 99,85% y 99,80%, respectivamente. Los gráficos 1303 – 1316 muestran el margen de cielo limpio de la capa superior para disponibilidades de la capa de señal superior de 99,95%, 99,90%, 99,85% y 99,80% respectivamente. Obsérvese en esta figura que los márgenes de cielo limpio de la capa superior son mucho menores que los márgenes de cielo limpio de la capa inferior. Los márgenes de cielo limpio más pequeños para la capa superior son críticos para las actuaciones de la modulación por capas puesto que disminuyen la potencia de transmisión por satélite requerida para la portadora de la capa superior.

La relación de la portadora de la capa de señal superior al ruido térmico en cielo limpio puede ser calculada como función de α , β , y las relaciones de portadora a ruido superior e inferior.

Empezando por la relación

$$C_U = \frac{(\beta N + \alpha C_L) T_U}{\alpha}$$

Ecuación (9)

podemos obtener

$$\begin{aligned} \frac{C_U}{N} &= \frac{\left(\beta + \alpha \frac{C_L}{N}\right) T_U}{\alpha} \\ \frac{C_U}{N} &= \frac{\left(\beta + \alpha \frac{\beta}{\alpha} T_L\right) T_U}{\alpha} \\ \frac{C_U}{N} &= \frac{\beta}{\alpha} (1 + T_L) T_U \end{aligned}$$

Ecuación (10)

Si la capa de señal inferior 418 no estuviese presente (por ejemplo, en una señal legada), la relación requerida de portadora de cielo limpio a ruido no incluiría el término $(1 + T_L)$. Este término añadido tiene en cuenta la presencia de la capa de señal inferior 418 como ruido de interferencia para la capa de señal superior 410. Teniendo en cuenta que N se refiere solamente al ruido térmico, el ruido total más la potencia de interferencia de la capa inferior visto por el desmodulador de la capa de señal superior es dominado por la potencia de la portadora de la capa de señal de la capa inferior.

La ecuación (10) proporciona un valor mínimo para C_U con relación al ruido térmico para que ambas capas de señal, la superior y la inferior, presenten la misma disponibilidad. Aumentando C_U por encima de este nivel, se puede aumentar la disponibilidad de la capa de señal superior 410 sobre la de la capa de señal inferior 418.

La FIG. 14 es una ilustración en la que se muestran los márgenes de cielo limpio de la capa de señal inferior y superior que sirven de ejemplo como niveles de potencia (dB) con relación al ruido térmico en condiciones de cielo limpio. En este ejemplo, el umbral de la capa de señal inferior al ruido más interferencia fue establecido en 6,0 dB, y el umbral de la portadora de la capa de señal superior al ruido más interferencia fue establecido en 5,0 dB. Los valores para α y β

5 son de aproximadamente -2,0 y +3,0 dB, respectivamente. Obsérvese que el punto de umbral de la capa de señal inferior más el margen de cielo limpio dan una potencia de la portadora de la capa inferior de cielo limpio de 11,0 dB con relación al ruido térmico N. La potencia de la combinación de ruido térmico y portadora de la capa de señal inferior es de 11,4 dB, la cual es el nivel de ruido más interferencia que ve la portadora de la capa de señal superior.

10 Sumando (en dB) el umbral requerido de la capa superior con el valor de ruido más interferencia de 5 dB a 11,4 dB, se obtiene el punto de umbral de la capa superior de 16,4 dB con relación al ruido térmico N. El margen de cielo limpio requerido por encima de este punto es solamente de 0,6 dB, sin embargo en una condición de atenuación por lluvia, ambas capas de señal, la superior y la inferior, presentarán la misma disponibilidad.

Márgenes de las Capas de Señal Superior e Inferior con Disponibilidad de la Capa Superior Mejorada

15 Las capas de señal superior e inferior 410, 418 pueden ser diseñadas también con diferentes objetivos de disponibilidad. Como se ha indicado anteriormente, la disponibilidad de la capa de señal inferior 418 no puede ser mejor que la disponibilidad de la capa de señal superior 410, puesto que la desmodulación satisfactoria de la capa de señal inferior 418 depende de la desmodulación satisfactoria de la capa de señal superior 410. Sin embargo, la capa de señal superior 410 puede ser diseñada con mejor disponibilidad que la de la capa de señal inferior 418 aumentando para ello el margen de la capa de señal superior. Como se demuestra en lo que sigue, se pueden obtener mejoras en la disponibilidad de la capa de señal superior 410 con solamente pequeños aumentos del margen de la capa de señal superior 410. Esta es una ventaja significativa de las técnicas de modulación en capas no coherentes que aquí se describen.

Modificando la Ecuación (1) para diferenciar entre los parámetros α y β para las capas de señal superior e inferior, se obtiene la Ecuación (11) que sigue.

25
$$T_L = \frac{\alpha_L C_L}{\beta_L N}$$
 Ecuación (11)

Con esto se obtienen las Ecuaciones (12) y (13).

$$C_L = \frac{\beta_L N T_L}{\alpha_L}$$
 Ecuación (12)

$$M_L = \frac{\beta_L}{\alpha_L}$$
 Ecuación (13)

Para disponibilidad mejorada en la capa superior:

30
$$\alpha_U < \alpha_L$$
 Ecuación (14)

y

$$\beta_U > \beta_L.$$
 Ecuación (15)

Teniendo en cuenta que cuando la capa de señal superior 410 está en el umbral, los nuevos valores de la capa de señal superior para α y β serán de aplicación.

35
$$T_U = \frac{\alpha_U C_U}{\beta_U N + \alpha_U C_L}.$$
 Ecuación (16)

Con referencia a la Ecuación (5), la nueva potencia de la portadora de la señal superior es

$$C_U = \frac{(\beta_U N + \alpha_U C_L) T_U}{\alpha_U} \quad \text{Ecuación (17)}$$

Usando la Ecuación (6), se derivan las siguientes relaciones

$$M_U = \frac{C_U}{N + C_L} \frac{1}{T_U} = \frac{C_U}{N + C_L} \frac{\beta_U N + \alpha_U C_L}{\alpha_U C_U} = \frac{\left(\frac{C_L}{N} + \frac{\beta_U}{\alpha_U} \right)}{\left(\frac{C_L}{N} + 1 \right)} \quad \text{Ecuación (18)}$$

Usando de la Ecuación (12),

$$\frac{C_L}{N} = \frac{\beta_L T_L}{\alpha_L} \quad \text{Ecuación (19)}$$

obtenemos

$$M_U = \frac{\frac{\beta_U}{\alpha_U} + \frac{\beta_L T_L}{\alpha_L}}{1 + \frac{\beta_L T_L}{\alpha_L}} = \frac{\alpha_L \beta_U + \beta_L T_L}{\alpha_L + \beta_L T_L} \quad \text{Ecuación (20)}$$

Obsérvese que la Ecuación (20) se reduce a la Ecuación (8) si las disponibilidades de las capas de señal superior e inferior son iguales (por ejemplo, $\alpha_L = \alpha_U$ y $\beta_L = \beta_U$).

10 La FIG. 15 es un gráfico de la Ecuación (20) como función de la no disponibilidad de la capa de señal superior 410. En este ejemplo, la no disponibilidad del nivel inferior es de 0,02% (puesto que la no disponibilidad es (disponibilidad 1), esto se traduce en una disponibilidad del 99,8%) y el umbral de la capa de señal inferior es de 6 dB.

15 Como puede verse en la curva inferior de la FIG. 15, en la cual se ha representado gráficamente M_U , el margen de cielo limpio de la capa superior definido por (18) ó (20), se puede mejorar la actuación de la capa de señal superior (por ejemplo con una menor no disponibilidad) aumentando para ello el margen de cielo limpio de la capa de señal superior en solamente décimas partes de un dB, como se ha ilustrado en la curva 1504. Como muestra la curva superior 1502, en un enlace por satélite de una sola capa modulado convencionalmente, el margen de cielo limpio tendría que ser mejorado en 3 dB para conseguir las mismas mejoras en las actuaciones.

20 Por consiguiente, si una de las capas de señal requiere una disponibilidad más alta que la otra, entonces esa capa debe ser designada como la capa de señal superior. Análogamente, si se requiere compatibilidad retrospectiva, entonces la capa de señal que proporcione tal compatibilidad retrospectiva debe ser designada como la capa de señal superior. Normalmente, no hay conflicto entre estos requisitos, puesto que la capa compatible retrospectiva es normalmente deseada también como la capa de más alta disponibilidad. Sin embargo, si la capa no compatible retrospectivamente requiere una disponibilidad más alta que la capa compatible retrospectiva, existe un requisito en conflicto. Esto puede resolverse diseñando el sistema de tal modo que la disponibilidad de las capas de señal sea igual y con el valor de disponibilidad más alto.

25 La FIG. 16 es un diagrama que ilustra pasos del método de ejemplo que pueden ser usados para poner en práctica una realización del invento. Se determina, al menos en parte, una primera potencia portadora C_L de modulación de la capa de señal, de acuerdo con un primer margen M_L de cielo limpio de la primera capa de señal y una disponibilidad de la primera capa de señal, como se ha ilustrado en el bloque 1602. En una realización, esto se consigue determinando la

$$C_L = \frac{\beta N T_L}{\alpha}$$

30 potencia C_L de la portadora de primer nivel de acuerdo con la formula en donde β/α es el margen M_L de cielo limpio de la primera capa. β comprende un valor que representa un aumento en el ruido de la señal de modulación en capas debido a la lluvia atmosférica, α comprende un valor que representa la atenuación por lluvia de la señal de modulación en capas, N comprende un valor que representa el ruido térmico en cielo limpio, y T_L comprende de umbral de una portadora de la primera capa de señal al ruido. En el bloque 1604, se determina una segunda potencia C_U de la portadora de modulación de la capa de señal al menos en parte de acuerdo con un segundo margen de cielo limpio de la capa de señal M_U y una disponibilidad de la segunda capa de señal. En una realización, esto se consigue

determinando una potencia de la portadora C_U de segundo nivel de acuerdo con la fórmula $C_U = \frac{(\beta N + \alpha C_L) T_U}{\alpha}$, y

$$M_U = \frac{(T_L + 1)}{\left(T_L + \frac{\alpha}{\beta}\right)}$$

en que el margen de cielo limpio de la segunda capa M_U y T_U comprenden un segundo nivel de umbral de portadora a ruido de la segunda capa de señal. A continuación se modulan los símbolos de la primera señal de acuerdo con una primera portadora a la potencia de la portadora de modulación de la primera capa de señal, como se ha ilustrado en el bloque 1606. Después se modulan los segundos símbolos de señal de acuerdo con una segunda portadora a la potencia de la portadora de modulación de la segunda capa de señal determinada, como se ha ilustrado en el bloque 1608. Las señales primera y segunda moduladas son luego transmitidas independientemente al satélite, como se ha ilustrado en el bloque 1610.

En una realización en la que la disponibilidad de la primera capa de señal y la disponibilidad de la segunda señal son sustancialmente iguales (por ejemplo, $\alpha_L = \alpha_U$ y $\beta_L = \beta_U$), el margen de cielo limpio M_U de la segunda capa de señal es menor que el margen de cielo limpio M_L de la primera capa de señal. En otra realización, la disponibilidad de la segunda capa de señal es mayor que la disponibilidad de la primera capa de señal ($\alpha_U < \alpha_L$ y $\beta_U > \beta_L$, por ejemplo), y el margen de

$$\frac{\frac{\beta_U}{\alpha_U} \beta_U + \beta_L T_L}{\alpha_L + \beta_L T_L}$$

cielo limpio M_U de la segunda capa de señal es igual a $\frac{\frac{\beta_U}{\alpha_U} \beta_U + \beta_L T_L}{\alpha_L + \beta_L T_L}$, en la que α_U representa al menos parcialmente la atenuación por la lluvia de la segunda portadora de modulación, α_L representa al menos parcialmente la atenuación por la lluvia de la primera portadora de la capa de modulación, β_U representa al menos parcialmente el ruido adicional en la segunda portadora de modulación debido a la lluvia, y β_L representa al menos parcialmente el ruido adicional en la primera portadora de modulación debido a la lluvia.

Conclusión

Con esto concluye la descripción de las realizaciones preferidas del presente invento. La descripción hecha en lo que antecede de la realización preferida del invento ha sido presentada con fines de ilustración y de descripción. No está destinada a ser exhaustiva ni a limitar el invento a la forma precisa descrita. A la luz de lo expuesto en lo que antecede, son posibles muchas modificaciones y variaciones. Por ejemplo, se hace notar que las configuraciones de enlace ascendente representadas y descritas en la exposición que se ha hecho en lo que antecede pueden ser implementadas mediante uno o más módulos de equipo físico, uno o más módulos de software que definan instrucciones cumplimentadas por un procesador, o por una combinación de ambos.

Se cuenta con que el alcance del invento no sea limitado por esta descripción detallada, sino por las reivindicaciones que aquí se acompañan. La memoria descriptiva, los ejemplos y los datos que anteceden proporcionan una descripción completa de la fabricación y el uso de la composición del invento. Puesto que se pueden producir muchas realizaciones del invento sin rebasar el alcance del mismo, el invento radica en las reivindicaciones que aquí se acompañan anexas.

REIVINDICACIONES

1. Un método para transmitir una señal de modulación en capas que tiene una primera capa de señal (410) que tiene primeros símbolos de señal y una segunda capa de señal (418) que tiene segundos símbolos de señal, que comprende los pasos de:

5 determinar una primera potencia de portadora C_L de modulación de la primera capa de señal, de acuerdo al menos en parte con un margen de cielo limpio M_L de la primera capa de señal, y una disponibilidad de la primera capa de señal;

determinar una segunda potencia de la portadora C_U de modulación de la segunda capa de señal de acuerdo al menos en parte con un margen de cielo limpio M_U de la segunda capa de señal y una disponibilidad de la segunda capa de señal;

10 modular los símbolos de la primera señal de acuerdo con una primera portadora a la potencia de la portadora de modulación de la primera capa de señal;

modular los símbolos de la segunda señal de acuerdo con una segunda portadora a la potencia de la portadora de modulación de la segunda capa de señal determinada para generar la señal de modulación en capas, en que la primera portadora es puesta en fase aleatoriamente con respecto a la segunda portadora;

15 transmitir los símbolos de la primera señal y los símbolos de la segunda señal modulados;

desmodular y decodificar la capa de la segunda señal para producir los segundos símbolos de la señal;

caracterizado por:

recodificar y remodular los símbolos de la segunda señal y sustraer los símbolos de la segunda señal codificados y remodulados de la señal de modulación en capas para producir la primera capa de señal y

20 desmodular la primera capa de señal para producir los primeros símbolos de señal;

en el que el margen de cielo limpio de la segunda capa de señal es menor que el margen de cielo limpio de la primera capa de señal cuando la disponibilidad de la primera capa de señal y la disponibilidad de la segunda capa de señal son sustancialmente iguales.

25 2. El método según la reivindicación 1, en el que los símbolos de la primera señal modulados y los símbolos de la segunda señal modulados son transmitidos independientemente.

3. El método según la reivindicación 1, en el que la primera capa de señal es transmitida en un margen de frecuencias diferente al de la segunda capa de señal.

4. El método según la reivindicación 1, en el que:

30 el paso de determinar la potencia de la portadora C_L de modulación de la primera capa de señal de acuerdo, al menos en parte, con un primer margen de cielo limpio M_L de la primera capa y una disponibilidad de la primera capa comprende el paso de determinar una potencia de la portadora C_L del primer nivel de acuerdo con

$$C_L = \frac{\beta N T_i}{\alpha}$$

35 en la que α es el margen M_L de cielo limpio de la primera capa, β comprende un valor que representa un aumento del ruido en la señal de modulación en capas debido a la lluvia atmosférica, α comprende un valor que representa la atenuación por la lluvia de la señal de modulación en capas N comprende un valor que representa el ruido térmico en cielo limpio y T_i comprende un primer umbral de portadora a ruido de la capa de señal, y

el paso de determinar la potencia de la portadora C_U de modulación de la segunda capa de señal de acuerdo al menos en parte con un margen de cielo limpio M_U de la segunda capa y una disponibilidad de la segunda capa comprende el paso de determinar una potencia de la portadora C_U de segundo nivel, de acuerdo con

$$C_U = \frac{(\beta N + \alpha C_L) T_U}{\alpha}$$

$$M_U = \frac{(T_L + 1)}{\left(T_L + \frac{\alpha}{\beta} \right)}$$

40 T_U comprende un nivel de umbral de portadora a ruido de la segunda capa de señal.

5. Un método para transmitir una señal de modulación en capas que tiene símbolos de la primera señal y una segunda capa de señal (418) que tiene símbolos de la segunda señal, que comprende los pasos de:

determinar una primera potencia de la portadora C_L de modulación de la primera capa de señal de acuerdo al menos en parte con un primer margen de cielo limpio M_L de la primera capa de señal y una disponibilidad de la primera capa de señal;

5 determinar una segunda potencia de la portadora C_U de modulación de la segunda capa de señal de acuerdo al menos en parte con un margen de cielo limpio M_U de la segunda capa y una disponibilidad de la segunda capa de señal;

modular los símbolos de la primera señal de acuerdo con una primera portadora a la potencia de la portadora de modulación de la primera capa de señal determinada;

10 modular los símbolos de la segunda señal de acuerdo con una segunda portadora a la potencia de la portadora de modulación de la segunda capa de señal determinada, en que la primera portadora está puesta en fase aleatoriamente con respecto a la segunda portadora que transmite los símbolos de la primera señal modulados y los símbolos de la segunda señal modulados, y desmodular la segunda portadora y descodificar la segunda portadora para producir los símbolos de la segunda señal,

caracterizado por:

15 recodificar y remodular los símbolos de la segunda señal y sustraer los símbolos de la segunda señal recodificados y remodulados de la señal de modulación en capas para producir la primera capa de señal;

desmodular la primera portadora y descodificar la desmodulada para producir los símbolos de la primera señal;

en que la disponibilidad de la segunda capa de señal es mayor que la disponibilidad de la primera capa de señal

$$\frac{\beta_U \beta_{II} + \beta_L T_L'}{\alpha_U}$$

20 y el margen de cielo limpio M_U de la segunda capa de señal es igual a $\frac{\beta_U \beta_{II} + \beta_L T_L'}{\alpha_L + \beta_L T_L}$, en que α_U representa al menos parcialmente la atenuación por la lluvia de la segunda portadora de modulación, α_L representa al menos parcialmente la atenuación por la lluvia de la portadora de modulación de la primera capa, β_U representa al menos parcialmente el ruido adicional en la segunda portadora de modulación debida a la lluvia, y β_L representa al menos parcialmente el ruido adicional en la primera portadora de modulación debido a la lluvia.

25 6. El método según la reivindicación 5, en el que los símbolos de la primera señal modulados y los símbolos de la segunda señal modulados son transmitidos independientemente.

7. El método según la reivindicación 5, en el que $\alpha_U > \alpha_L$ y $\beta_U > \beta_L$.

8. El método según la reivindicación 5, en el que la segunda capa de modulación es una capa de modulación superior y la primera capa de modulación es una capa de modulación inferior impuesta sobre la capa de modulación superior.

30 9. Un aparato para transmitir una señal de modulación en capas (1016) que tiene una primera capa de señal (410) que tiene símbolos de la primera señal y una segunda capa de señal (418) que tiene símbolos de la segunda señal, que comprende:

35 un procesador (1204) para determinar una primera potencia de la portadora C_L de modulación de la primera capa de señal de acuerdo al menos en parte con un margen de cielo limpio M_L de la primera capa de señal y una disponibilidad de la primera capa de señal, y para determinar una potencia de la portadora C_U de modulación de la segunda capa de señal, de acuerdo al menos en parte con un margen de cielo limpio M_U de la segunda capa de señal, y una disponibilidad de la segunda capa de señal;

un modulador (406) acoplado para comunicación con el procesador, el modulador (406) para modular los símbolos de la primera señal de acuerdo con una primera portadora a la potencia de la portadora de modulación de la primera capa de señal determinada;

40 un segundo modulador (414) acoplado para comunicación con el procesador, el segundo modulador (406) para modular los símbolos de la segunda señal de acuerdo con una segunda portadora a la potencia de la portadora de modulación de la segunda capa de señal determinada para generar la segunda capa de señal, en que la primera portadora está puesta en fase aleatoriamente con respecto a la segunda portadora;

45 al menos un transmisor (420, 422) acoplado para con el modulador (406) y con el segundo modulador (414), el al menos un transmisor (420, 422) para transmitir los símbolos de la primera señal modulados y los símbolos de la segunda señal modulados; y

un desmodulador (1004) para desmodular la señal de la segunda capa;

un decodificador (1002) acoplado para comunicación con el desmodulador (1004) para descodificar la señal de la segunda capa desmodulada para producir los símbolos de la segunda señal;

un recodificador (1006) acoplado para comunicación con el decodificador (1002), el recodificador (1006) para recodificar los símbolos de la segunda señal;

5 un modulador (1006), acoplado para comunicación con el recodificador, el modulador (1006) para remodular los símbolos de la segunda señal codificados;

caracterizado por:

10 un diferenciador (1012), acoplado para comunicación con el modulador (1006), para sustraer los símbolos de la segunda señal remodulados y recodificados de la señal de modulación en capas para producir la primera capa de señal;

un segundo desmodulador (1010), para desmodular y descodificar la primera capa de señal para producir los símbolos de la primera señal; y

15 en que el margen de cielo limpio de la segunda capa de señal es menor que el margen de cielo limpio de la primera capa de señal cuando la disponibilidad de la primera capa de señal y la disponibilidad de la segunda capa de señal son sustancialmente iguales.

10. El aparato según la reivindicación 9, en el que los símbolos de la primera señal modulados y los símbolos de la segunda señal modulados son transmitidos independientemente.

11. El aparato según la reivindicación 9, en el que la modulación de la segunda capa de señal es una capa de modulación superior y la modulación de la primera capa de señal es una capa de modulación inferior.

20 12. El aparato según la reivindicación 11, en el que el procesador (1204) comprende:

un módulo para determinar una potencia de la portadora C_L de primer nivel de acuerdo con la fórmula

25
$$C_L = \frac{\beta N T_L}{\alpha}$$
, en que α es el margen de cielo limpio de la primera capa, β comprende un valor que representa un aumento en el ruido de la señal de modulación en capas debido a la lluvia atmosférica, α comprende un valor que representa la atenuación por la lluvia de la señal de modulación en capas, N comprende un valor que representa el ruido térmico en cielo limpio, y T_L comprende un nivel de umbral de portadora a ruido de una primera capa de señal; y

un segundo módulo para determinar una potencia de la portadora C_U de segundo nivel, de acuerdo con la fórmula

30
$$C_U = \frac{(\beta N + \alpha C_L) T_U}{\alpha}$$
, y en que el margen de cielo limpio de la segunda capa comprende un nivel de umbral de portadora a ruido de la segunda capa de señal.
$$M_U = \frac{(T_L + 1)}{\left(T_L + \frac{\alpha}{\beta}\right)}$$
 y T_U

13. Un aparato para transmitir una señal de modulación en capas (1016) que tiene una primera capa de señal (410) que tiene primeros símbolos de señal y una segunda capa de señal (418) que tiene segundos símbolos de señal, que comprende:

35 un procesador (1204) para determinar una potencia de la portadora C_L de modulación de la primera capa de señal de acuerdo al menos en parte con un primer margen de cielo limpio M_L de la primera capa de señal y una disponibilidad de la primera capa de señal, y para determinar una segunda potencia de la portadora C_U de modulación de la segunda capa de señal de acuerdo al menos en parte con un segundo margen de cielo limpio M_U de la segunda capa, y una disponibilidad de la segunda capa de señal;

40 un modulador (406) acoplado para comunicación con el procesador, el modulador (406) para modular los símbolos de la primera señal de acuerdo con una primera portadora a la potencia de la portadora de modulación de la primera capa de señal determinada;

un segundo modulador (414) acoplado para comunicación con el procesador (1204), el segundo modulador (414) para modular los símbolos de la segunda señal de acuerdo con una segunda portadora a la potencia de la portadora de modulación de la segunda capa de señal determinada para generar la segunda señal modulada, en que la primera portadora está puesta en fase aleatoriamente con respecto a la segunda portadora;

al menos un transmisor (420, 422) acoplado para comunicación con el segundo modulador (414), el al menos un transmisor para transmitir los símbolos de la primera señal modulados y los símbolos de la segunda señal modulados;

5 un desmodulador (1004) para desmodular y decodificar la segunda portadora y decodificar la segunda capa para producir los símbolos de la segunda señal;

un recodificador (1006) acoplado para comunicación con el desmodulador, el recodificador (1006) para recodificar los símbolos de la segunda señal;

un modulador (1006) acoplado para comunicación con el desmodulador, el desmodulador (1006) para remodular los símbolos de la segunda señal;

10 **caracterizado por:**

un diferenciador (1012) acoplado para comunicación con el modulador (1006), para sustraer los símbolos de la segunda señal remodulados recodificados de la señal de modulación en capas para producir la primera capa de señal;

15 un segundo desmodulador (1010) acoplado para comunicación con el diferenciador (1012), el segundo desmodulador para desmodular la primera portadora y decodificar la primera portadora desmodulada para producir los símbolos de la primera señal; y

en el que la disponibilidad de la segunda capa de señal es mayor que la disponibilidad de la primera capa de

$$M_U = \frac{\beta_U \beta_U + \beta_L T_L}{\alpha_U + \beta_L T_L}$$

señal y el margen de cielo limpio de la segunda capa de señal M_U , en que α_U representa al menos parcialmente la atenuación por la lluvia de la segunda portadora de modulación, α_L representa al menos parcialmente la atenuación por la lluvia de la portadora de modulación de la primera capa, β_U representa al menos parcialmente el ruido adicional en la segunda portadora de modulación debido a la lluvia, y β_L representa al menos parcialmente el ruido adicional en la primera portadora de modulación debido a la lluvia.

20 14. El aparato según la reivindicación 13, en el que los símbolos de la primera señal y los símbolos de la segunda señal modulados son transmitidos independientemente.

25 15. El aparato según la reivindicación 13, en el que $\alpha_U < \alpha_L$ y $\beta_U > \beta_L$.

16. El aparato según la reivindicación 13, en el que la segunda capa de modulación es una capa de modulación superior y la primera capa de modulación es una capa de modulación inferior impuesta sobre la capa de modulación superior.

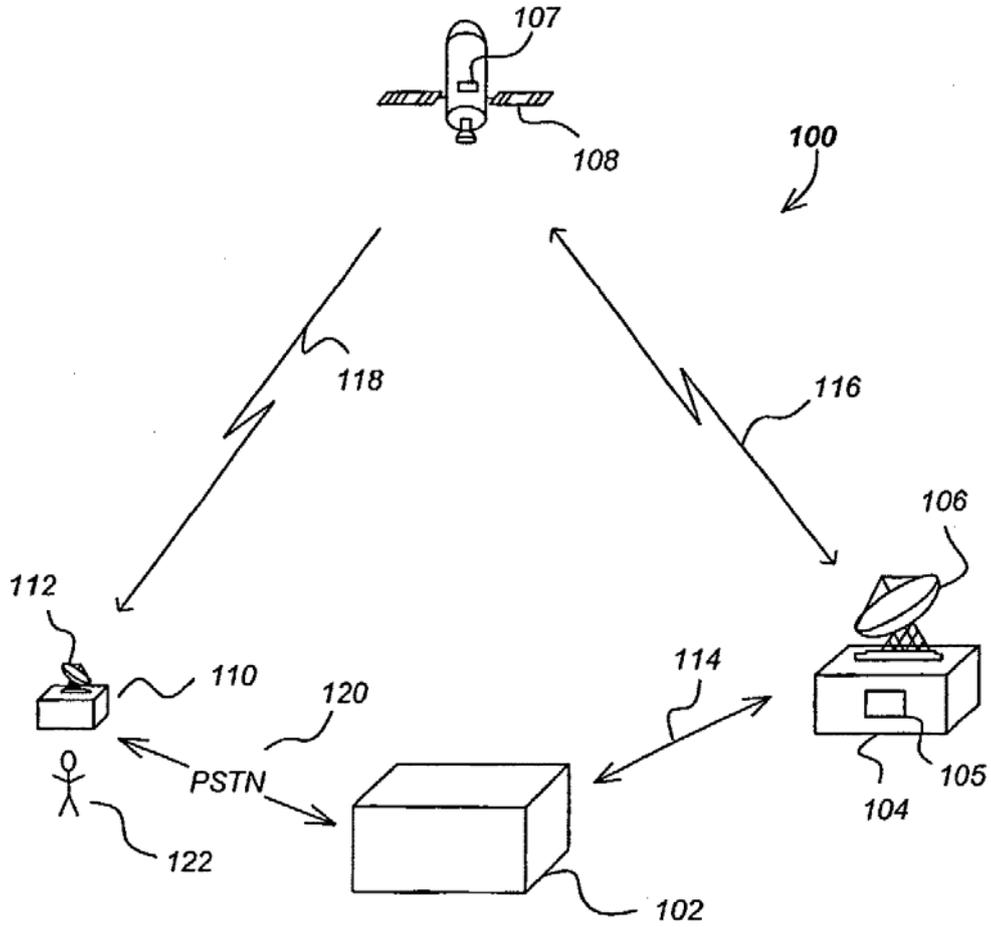


FIG. 1

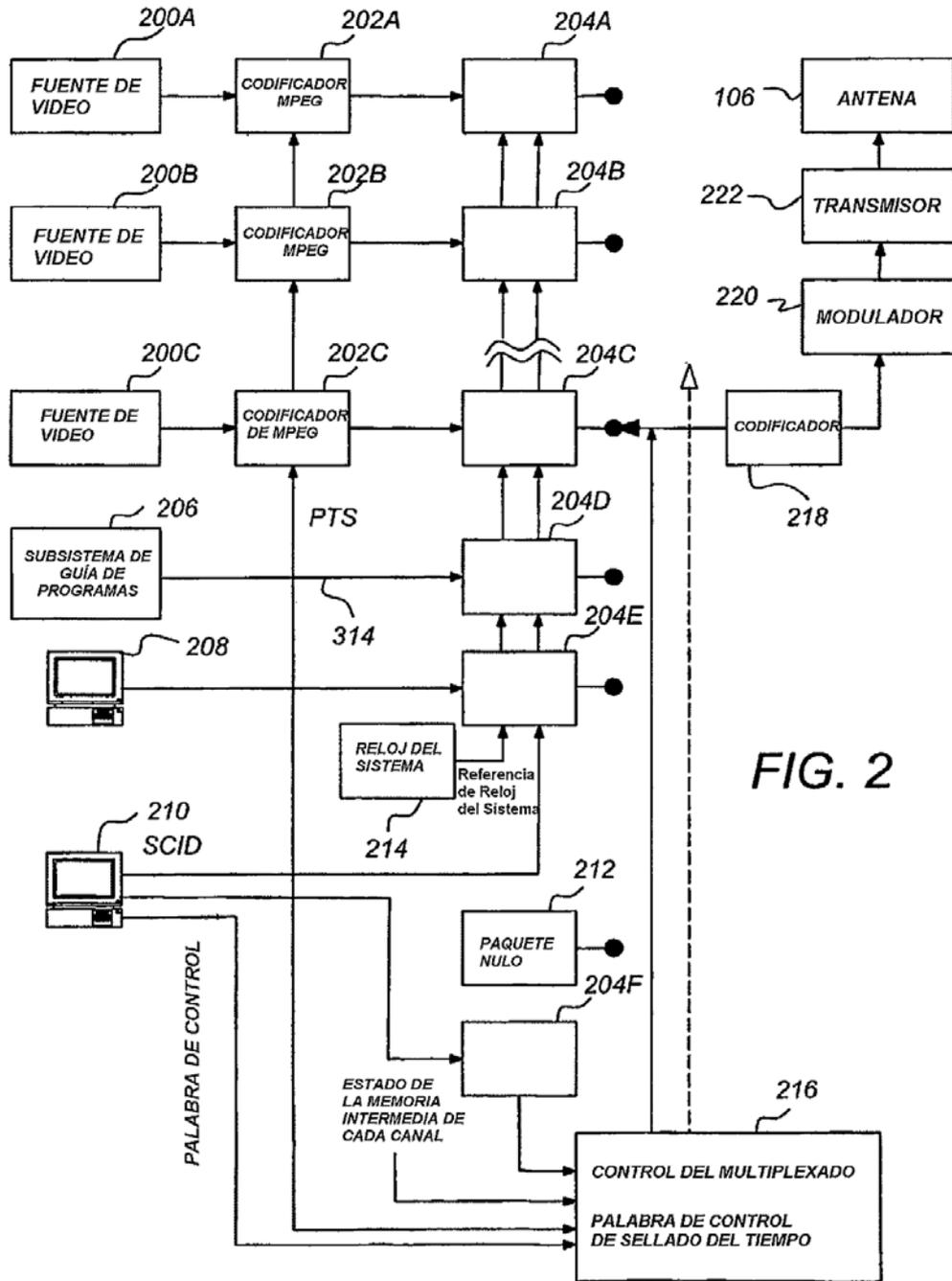


FIG. 2

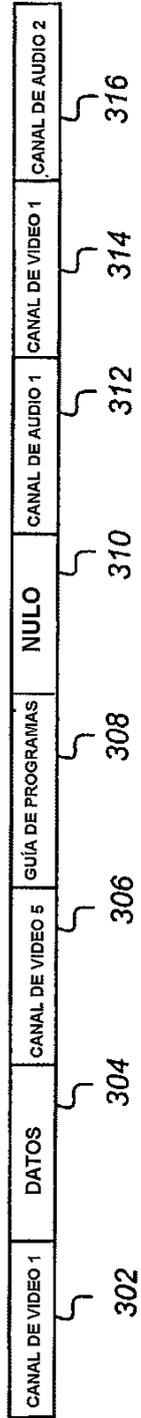


FIG. 3A

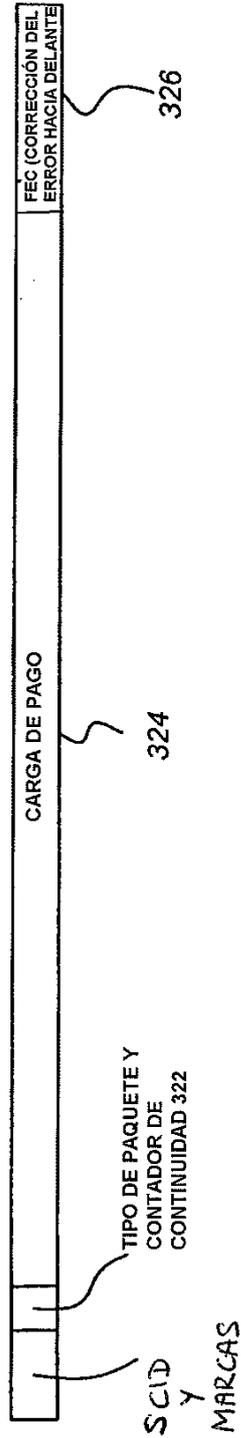


FIG. 3B

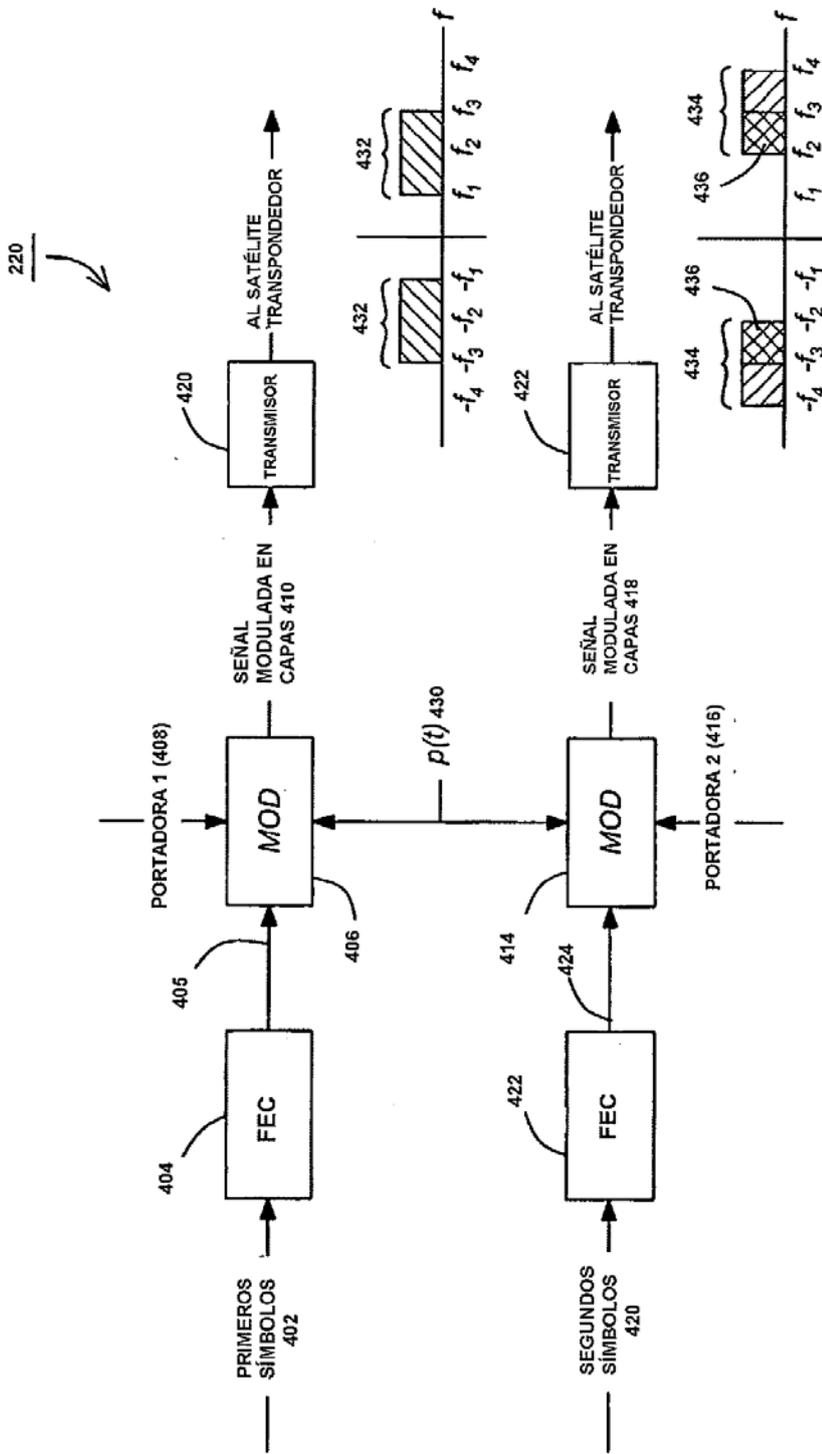


FIG. 4

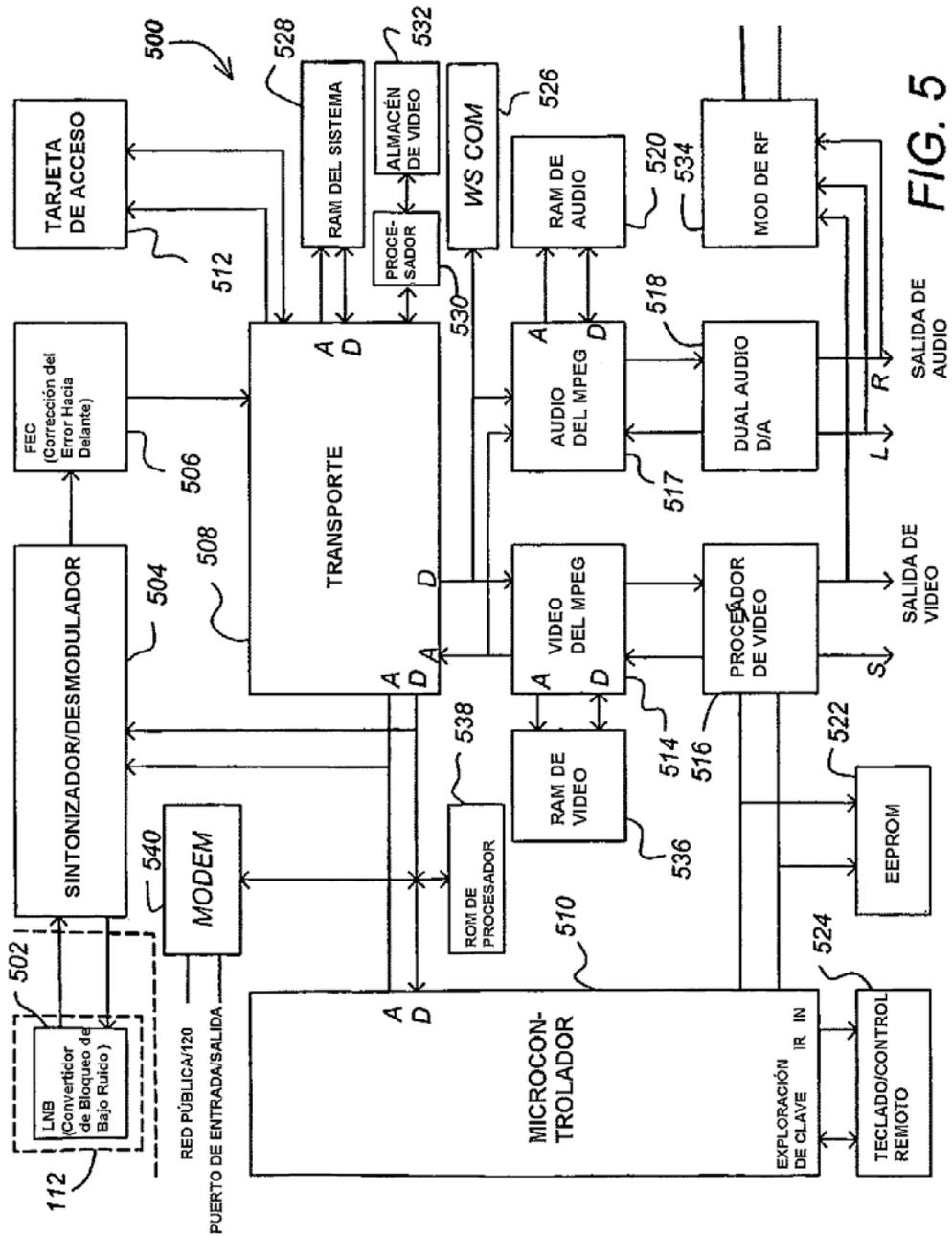


FIG. 5

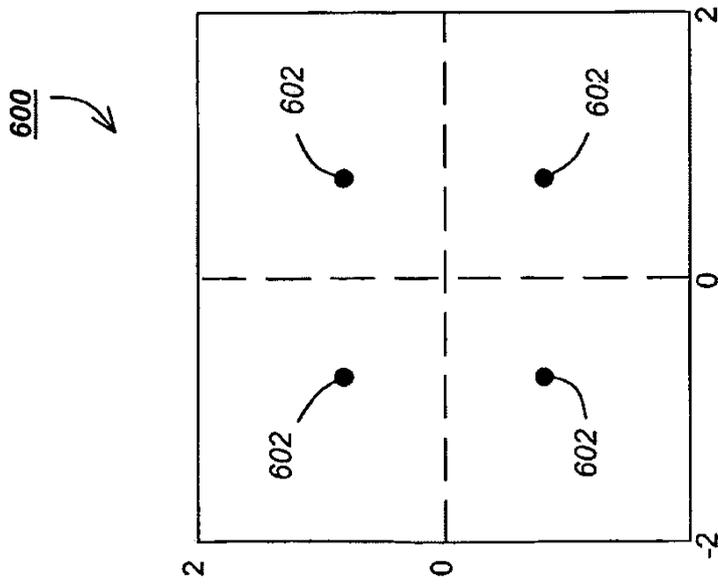


FIG. 6A

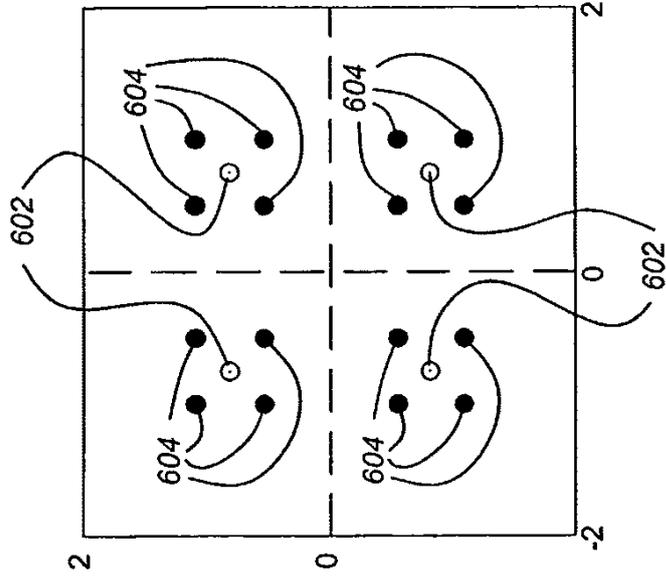


FIG. 6B

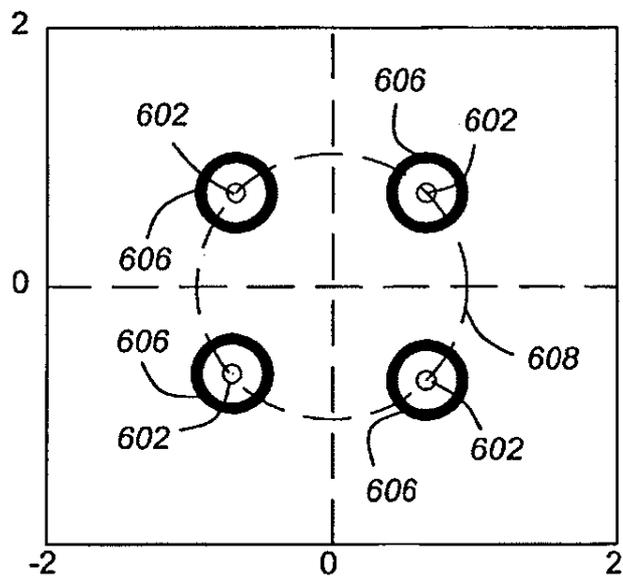


FIG. 6C

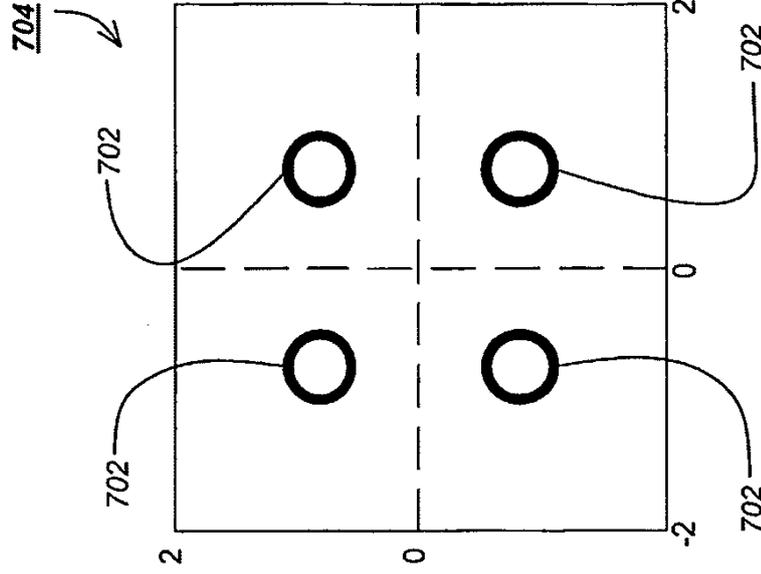


FIG. 7B

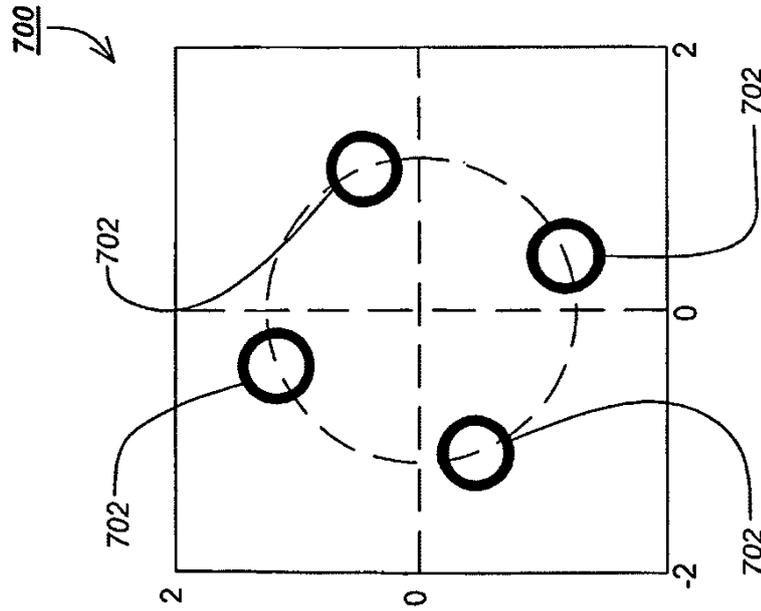


FIG. 7A

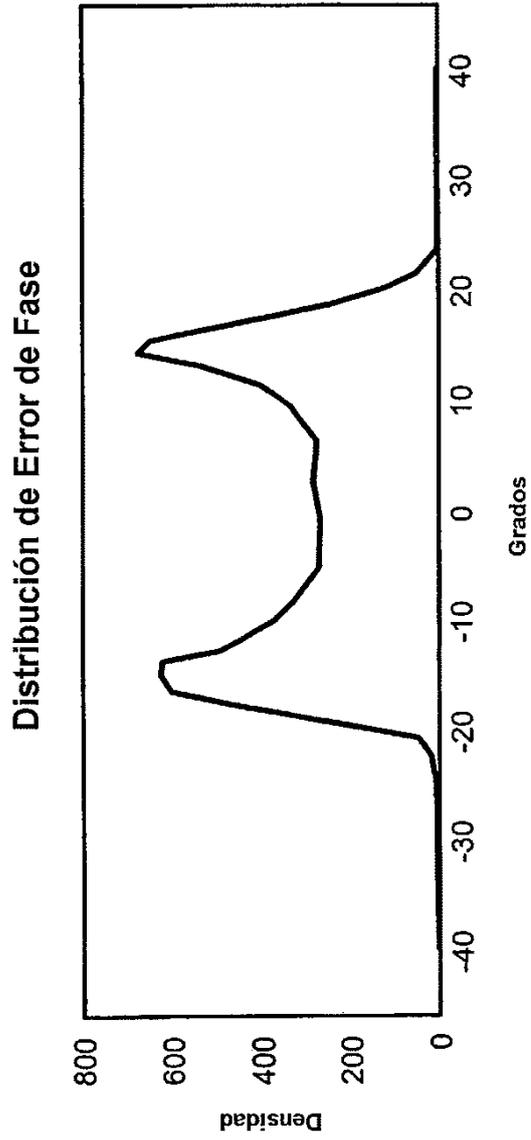


FIG. 7C

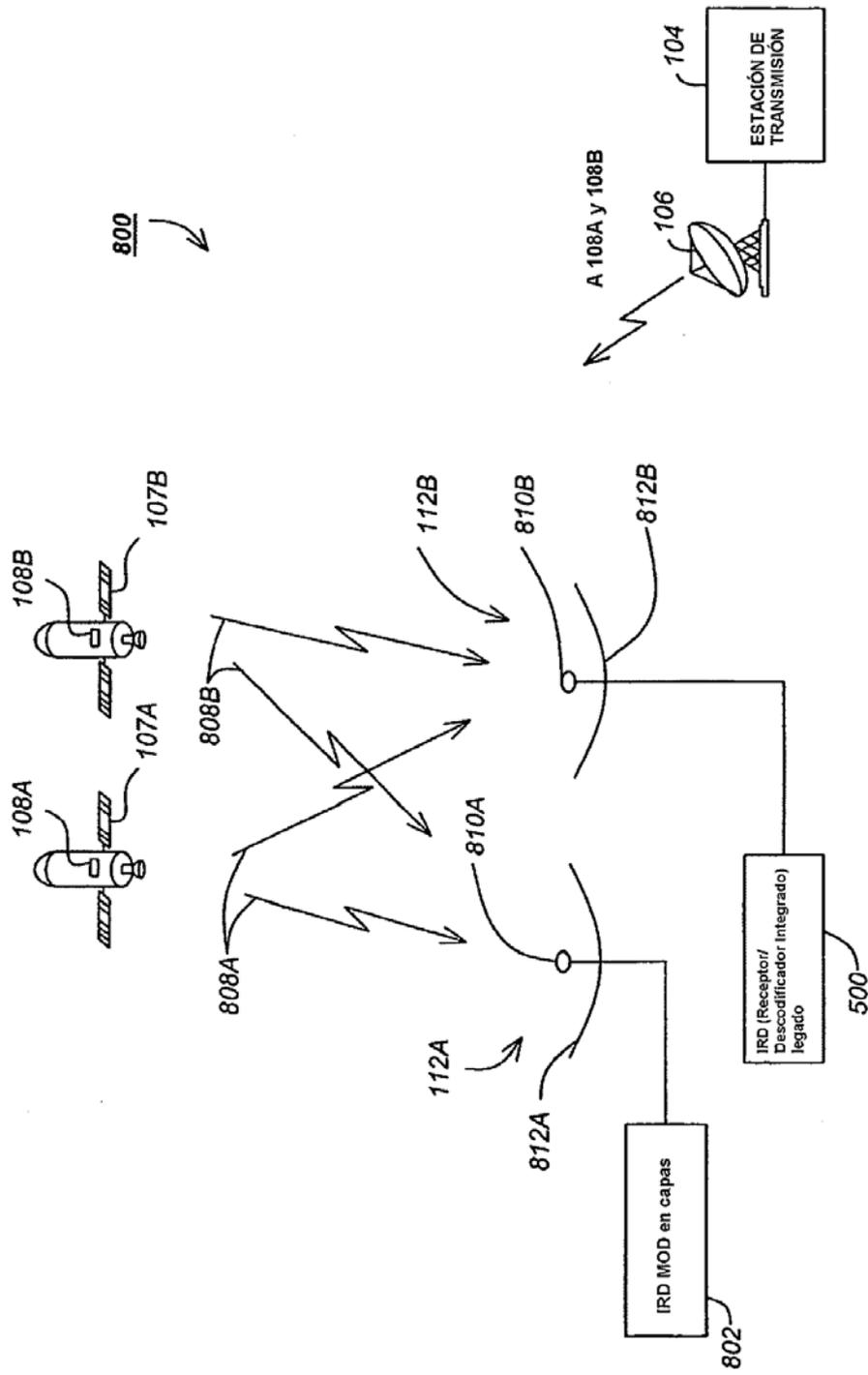


FIG. 8

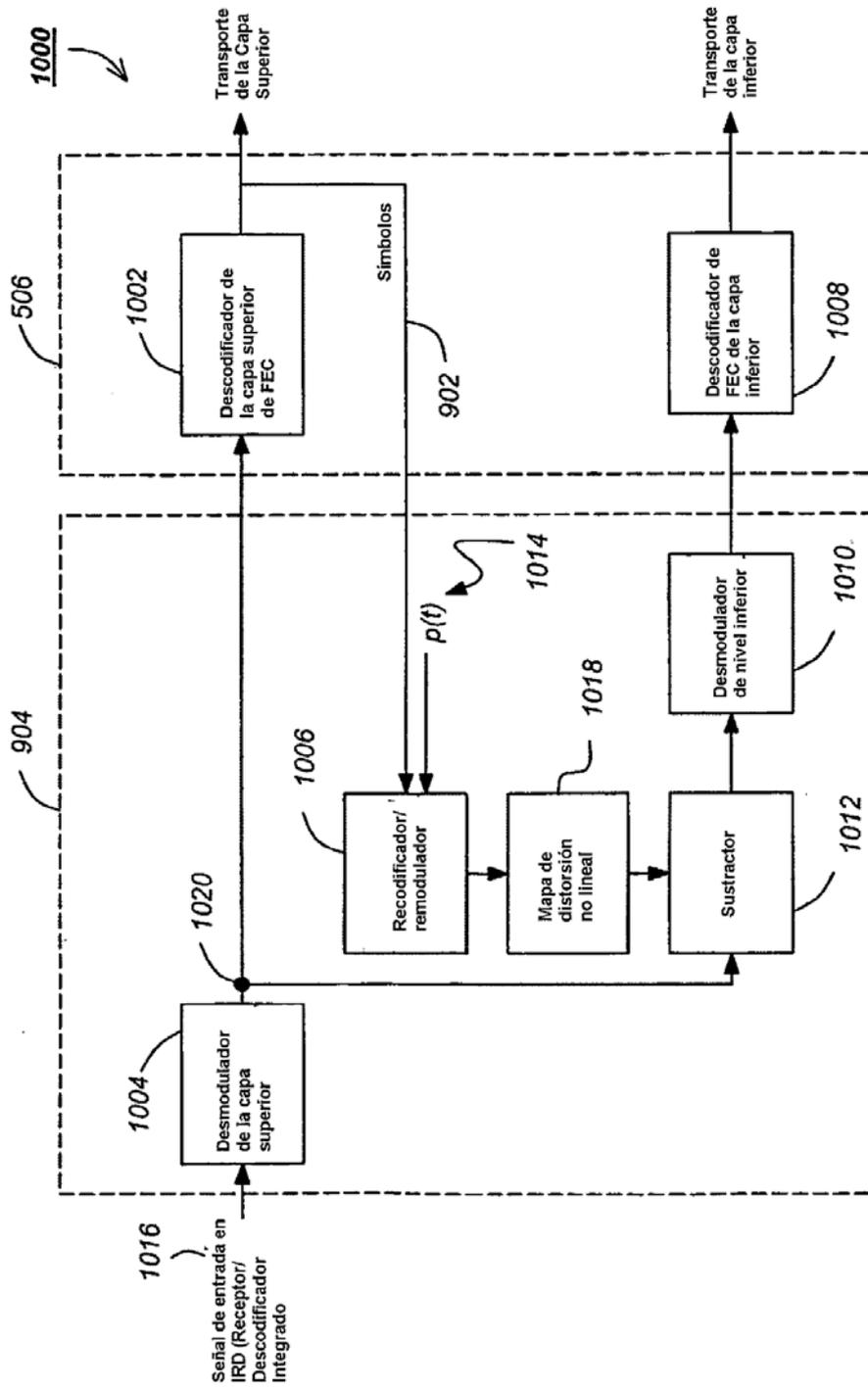


FIG. 10A

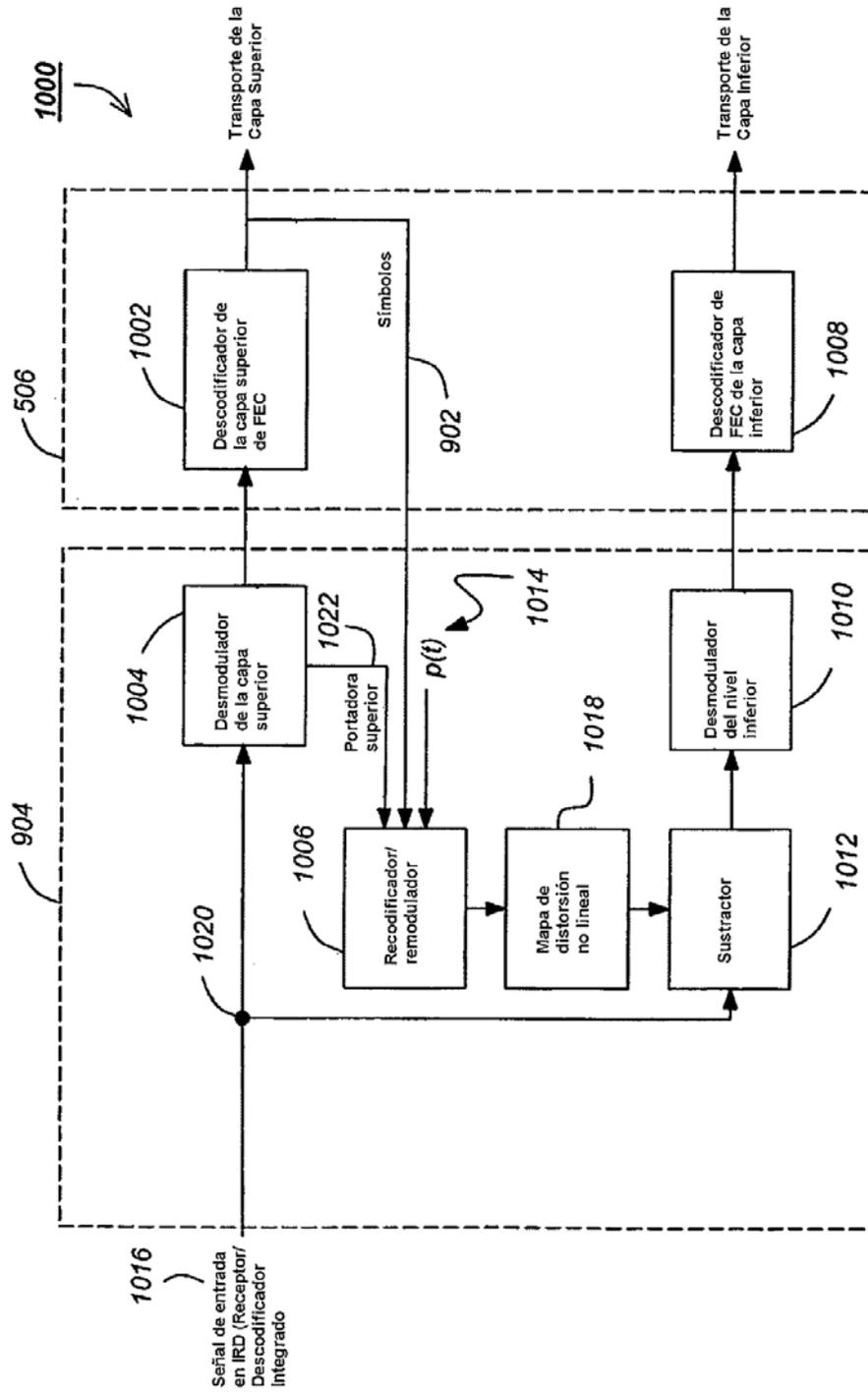


FIG. 10B

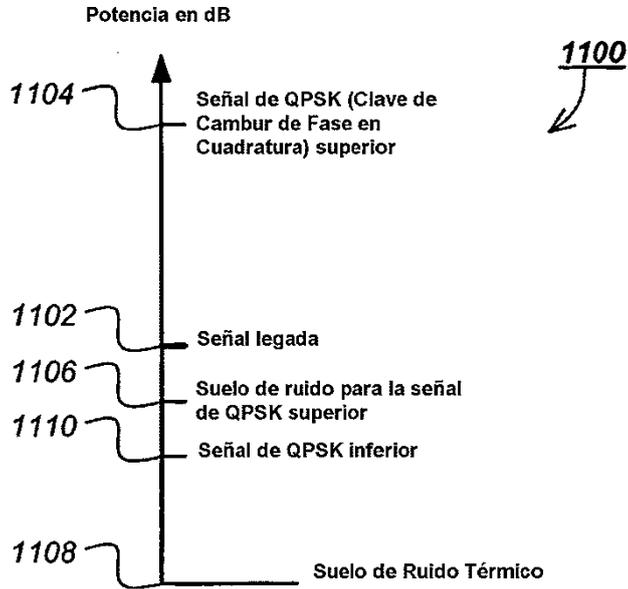


FIG. 11A

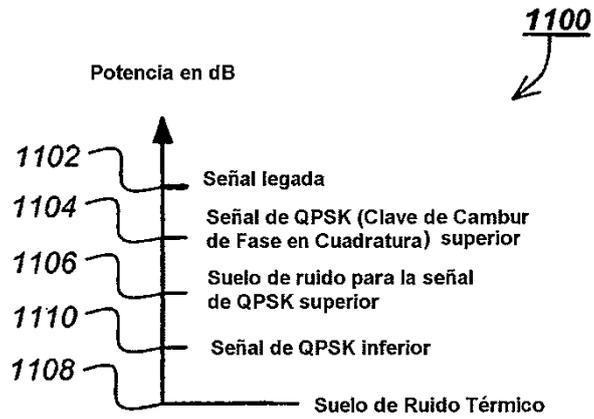


FIG. 11B

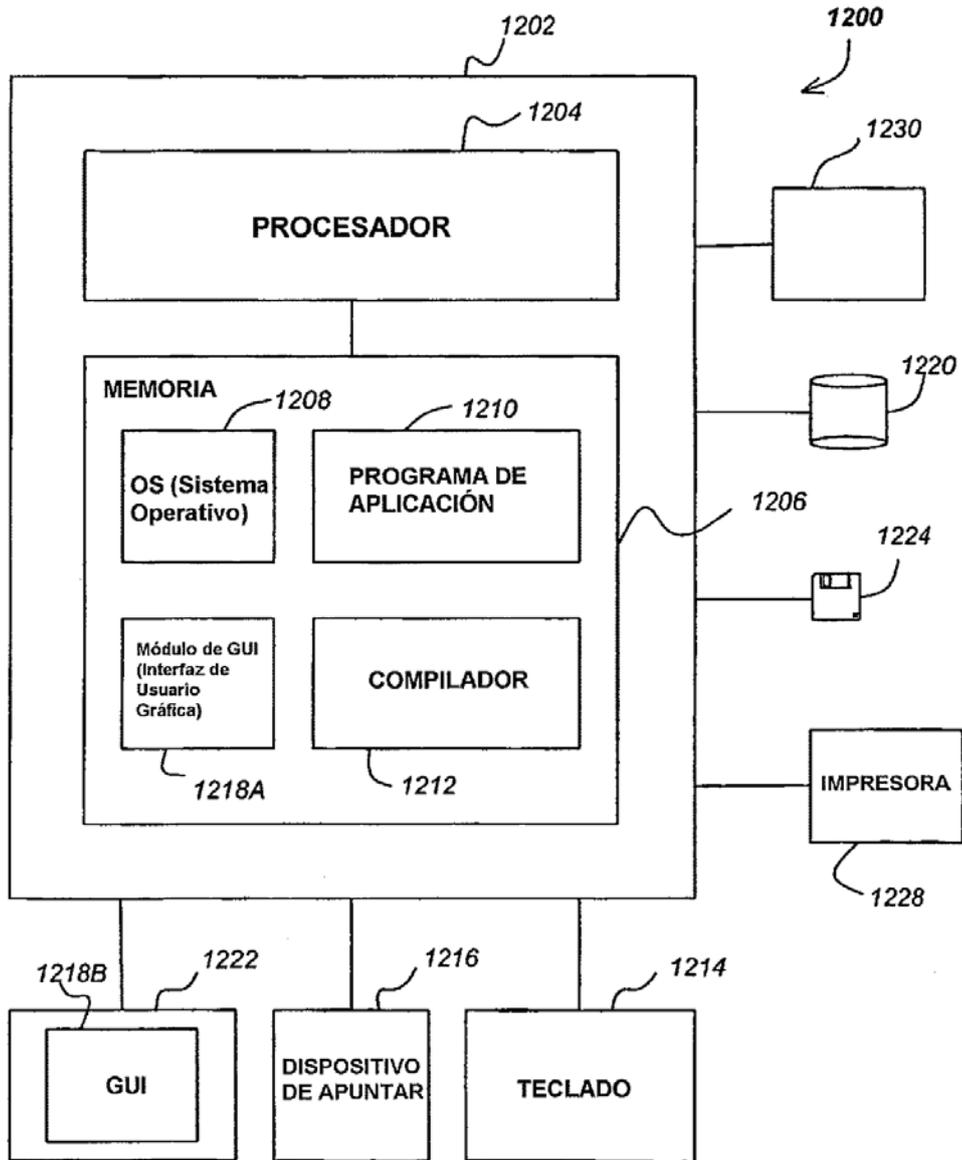
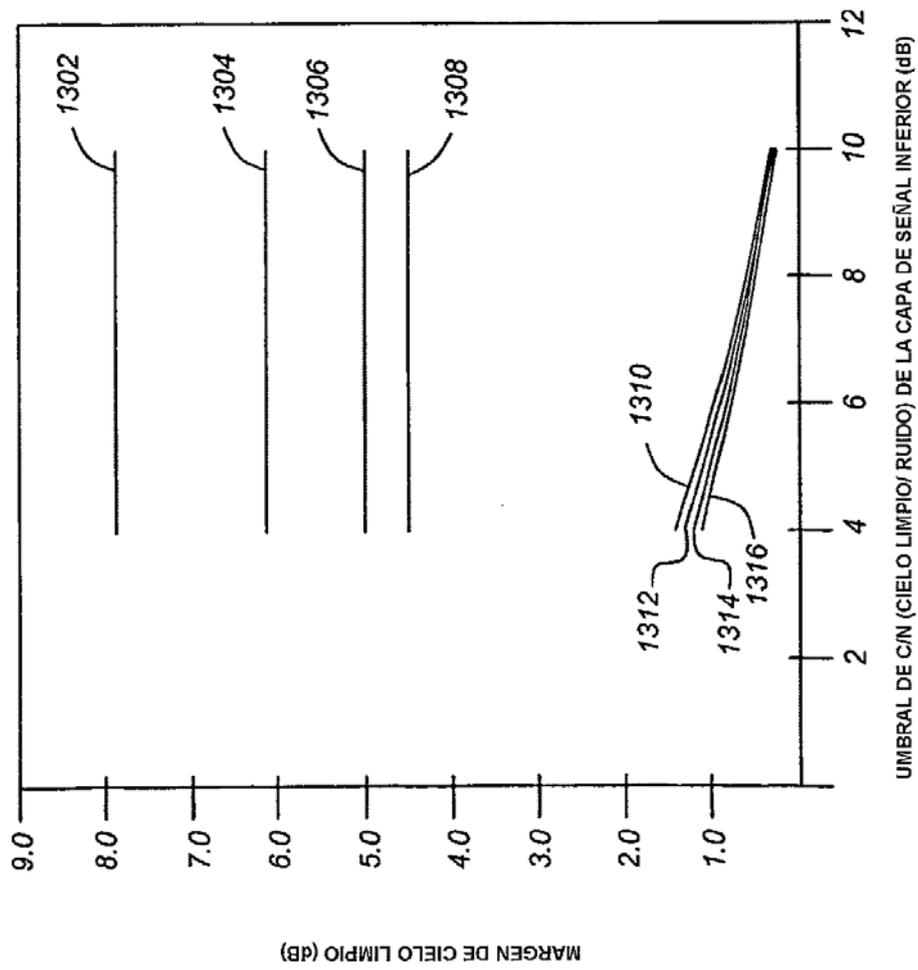


FIG. 12

FIG. 13



1400

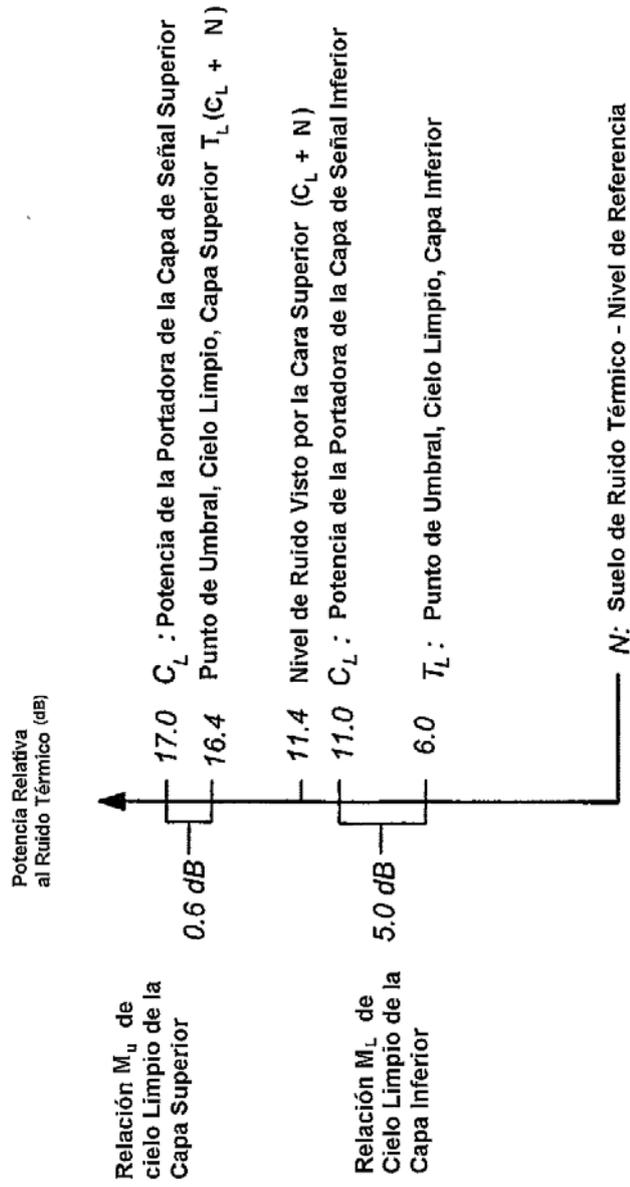
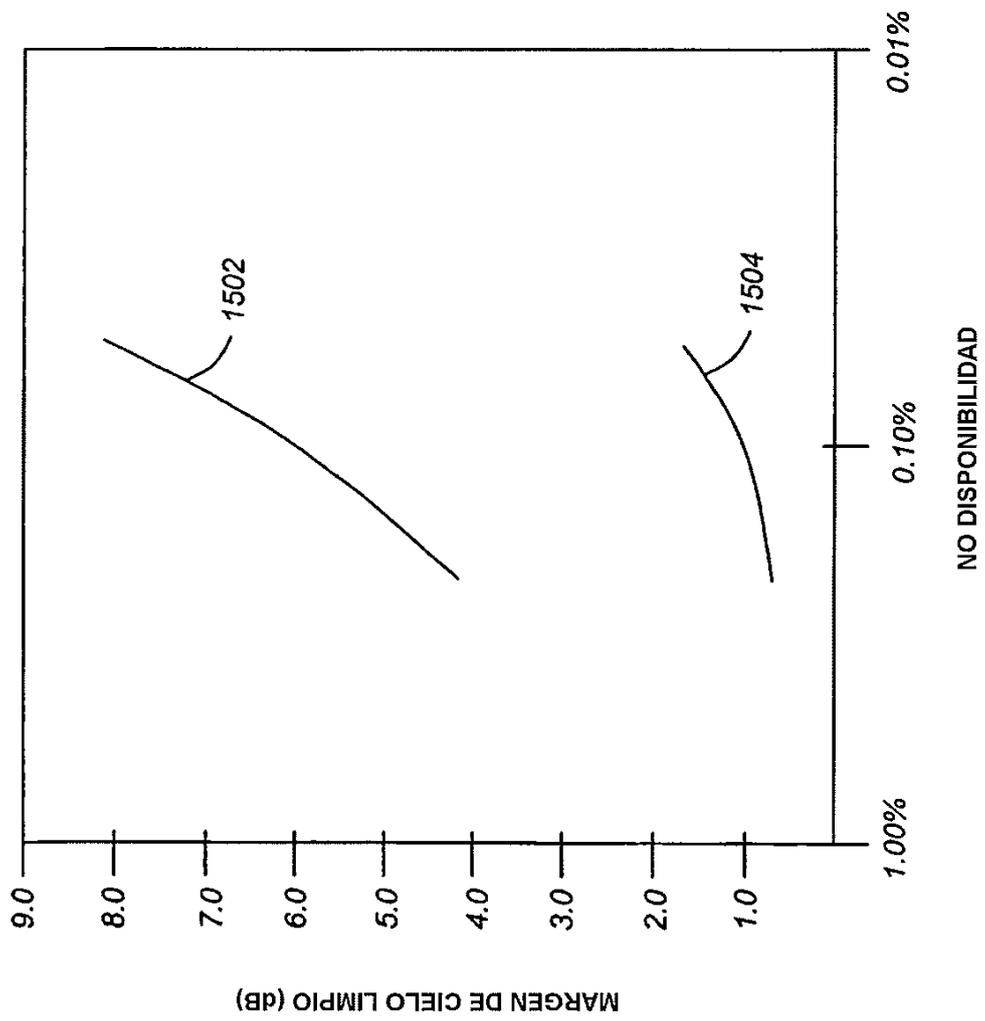


FIG. 14

FIG. 15



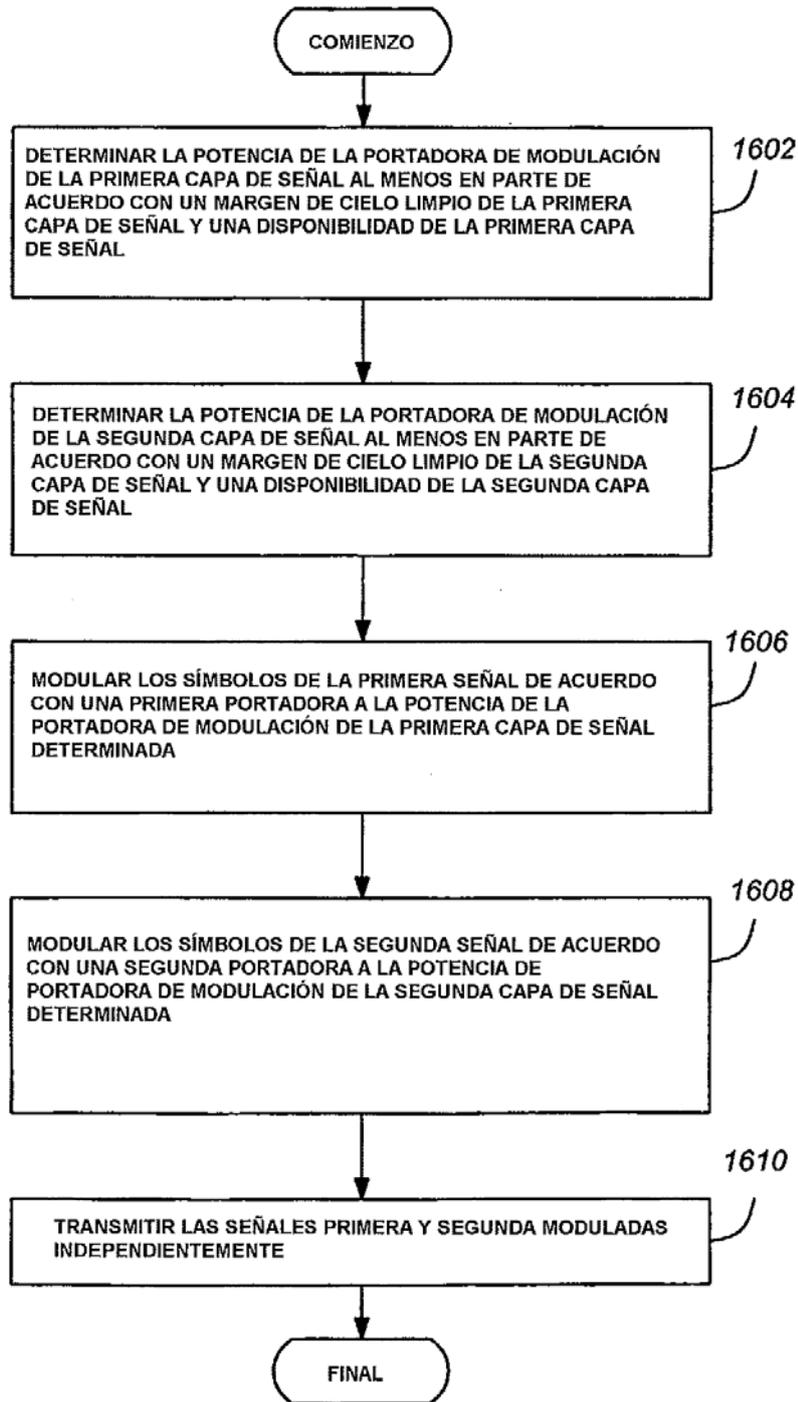


FIG. 16