

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 923 503**

51 Int. Cl.:

H04B 7/185 (2006.01)

H04B 7/204 (2006.01)

H04W 56/00 (2009.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.01.2017 E 19202110 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.05.2022 EP 3651379**

54 Título: **Formación de haces de antena en tierra para las comunicaciones entre los grupos de nodos de acceso y los terminales de usuario conectados por un retransmisor como un satélite**

30 Prioridad:

13.01.2016 US 201662278368 P
23.02.2016 US 201662298911 P
23.03.2016 US 201662312342 P
29.03.2016 US 201662314921 P
08.04.2016 WO PCT/US2016/026815
07.12.2016 US 201662431416 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
28.09.2022

73 Titular/es:

VIASAT INC. (100.0%)
6155 El Camino Real
Carlsbad CA 92009, US

72 Inventor/es:

CRONIN, CHRISTOPHER;
MILLER, MARK;
DANKBERG, MARK;
BUER, KENNETH y
RUNYON, DONALD

74 Agente/Representante:

DEL VALLE VALIENTE, Sonia

ES 2 923 503 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

Formación de haces de antena en tierra para las comunicaciones entre los grupos de nodos de acceso y los terminales de usuario conectados por un retransmisor como un satélite

Campo técnico

La descripción se refiere a satélites y métodos para proporcionar comunicaciones entre una pluralidad de nodos de acceso y una pluralidad de terminales de usuario.

Antecedentes

Los sistemas de comunicación inalámbricos, tales como sistemas de comunicación por satélite, proporcionan un medio mediante el cual pueden comunicarse datos, incluyendo audio, vídeo y otros diversos tipos de datos, de una localización a otra. La información se origina en una primera estación, tal como una primera estación en tierra, y se transmite a un retransmisor inalámbrico, tal como un satélite de comunicaciones. La información recibida por el retransmisor inalámbrico se retransmite a una segunda estación, tal como una segunda estación en tierra. En algunos sistemas de comunicación de retransmisión inalámbricos, la primera o la segunda estación (o ambas) están montadas en una nave, tal como una aeronave, embarcación o vehículo terrestre. La información puede transmitirse en una sola dirección (*p. ej.*, de una primera estación en tierra a una segunda estación en tierra solamente) o puede transmitirse en ambas direcciones (*p. ej.*, también de la segunda estación terrestre a la primera estación en tierra).

En un sistema de comunicación de retransmisión inalámbrico en el que el retransmisor inalámbrico es un satélite, el satélite puede ser un satélite geoestacionario, en cuyo caso la órbita del satélite está sincronizada con la rotación de la Tierra, manteniendo el área de cobertura del satélite esencialmente estacionaria con respecto a la Tierra. En otros casos, el satélite está en una órbita alrededor de la Tierra que provoca que la huella del satélite se mueva sobre la superficie de la Tierra a medida que el satélite recorre su ruta orbital.

Las señales que se dirigen a, o desde, una primera estación pueden dirigirse utilizando una antena que está conformada para enfocar la señal en un haz estrecho. Dichas antenas tienen de forma típica un reflector en forma parabólica para enfocar el haz.

En algunos casos, un haz puede formarse electrónicamente ajustando la ganancia y fase (o retardo de tiempo) de las señales que se transmiten, reciben o ambos de varios elementos de un conjunto de antenas en fase. Seleccionando correctamente la fase y la ganancia relativas transmitidas y/o recibidas por cada elemento de un conjunto de antenas en fase, puede dirigirse el haz. En la mayoría de los casos, se prevé que toda la energía que se transmite desde una estación en tierra sea recibida por un retransmisor inalámbrico. De modo similar, la información recibida por la segunda estación se recibe de forma típica desde un retransmisor inalámbrico a la vez. Por lo tanto, es habitual que un haz de transmisión que se forma para transmitir información al retransmisor inalámbrico (ya sea mediante el uso de formación de haces electrónica o mediante el uso de una antena con un reflector conformado) sea relativamente estrecho para permitir que se dirija al retransmisor inalámbrico la mayor cantidad de energía transmitida posible. Del mismo modo, un haz de recepción que se forma para recibir información desde el retransmisor inalámbrico es de forma típica estrecho para recoger energía procedente de la dirección del retransmisor inalámbrico con interferencia mínima de otras fuentes.

En muchos casos de interés, las señales que se transmiten desde el retransmisor inalámbrico a la primera y segunda estaciones no se dirigen a una sola estación. Más bien, el retransmisor inalámbrico es capaz de transmitir señales en un área geográfica relativamente grande. Por ejemplo, en un sistema de comunicación por satélite, un satélite puede dar servicio a todos los Estados Unidos continentales. En tal caso, se dice que el satélite tiene un área de cobertura de satélite que incluye la totalidad de los Estados Unidos continentales. No obstante, para aumentar la cantidad de datos que pueden transmitirse a través de un satélite, la energía transmitida por el satélite se enfoca en haces. Los haces pueden dirigirse a áreas geográficas en la Tierra.

US-2014/0065950 A1 describe sistemas y métodos para comunicaciones por satélite de haces emparejados en una arquitectura de satélite flexible.

Sumario

Esta patente europea se dirige a la invención expuesta en las reivindicaciones independientes.

Breve descripción de las figuras

Los dibujos se proporcionan únicamente con propósitos ilustrativos y simplemente ilustran ejemplos. Estos dibujos se proporcionan para facilitar la comprensión del lector del método y el aparato descritos. No limitan el ámbito, extensión o aplicabilidad de la invención reivindicada. Por claridad y facilidad de ilustración, estos dibujos no se han hecho necesariamente a escala.

La Fig. 1 es una ilustración de un ejemplo de un sistema de comunicación por satélite, útil para comprender la invención.

La Fig. 2 es un diagrama que muestra un patrón ilustrativo de haces que cubren los Estados Unidos continentales, útil para comprender la invención.

La Fig. 3 es una ilustración de un ejemplo del enlace directo de un sistema de comunicación por satélite en el que el satélite tiene una capacidad de formación de haces integrada de conjunto en fase de alimentación múltiple por haz, útil para comprender la invención.

La Fig. 4 es una ilustración de un ejemplo del enlace directo de un sistema de comunicación por satélite que tiene formación de haces en tierra, útil para comprender la invención.

La Fig. 5 es una ilustración de un ejemplo de sistema de formación de haces de extremo a extremo, útil para comprender la invención.

La Fig. 6 es una ilustración de rutas de señal ilustrativas para señales en la dirección de retorno, útil para comprender la invención.

La Fig. 7 es una ilustración de trayectorias de señal ilustrativas en la dirección de retorno desde un terminal de usuario, útil para comprender la invención.

La Fig. 8 es una ilustración simplificada de un ejemplo de modelo de matriz de canal de retorno de extremo a extremo, útil para comprender la invención.

La Fig. 9 es una ilustración de rutas de señal ilustrativas en la dirección hacia adelante, útil para comprender la invención.

La Fig. 10 es una ilustración de rutas de señal ilustrativas en la dirección directa un terminal de usuario situado dentro de un área de cobertura de haz de usuario, útil para comprender la invención.

La Fig. 11 es una ilustración simplificada de un ejemplo de modelo de matriz de canal directo de extremo a extremo, útil para comprender la invención.

La Fig. 12 es una ilustración de un satélite de retransmisor de extremo a extremo ilustrativo que soporta datos directos y de retorno, útil para comprender la invención.

La Fig. 13 es una ilustración de un ejemplo de un intervalo de frecuencias de enlace ascendente que se divide en dos partes, útil para comprender la invención.

La Fig. 14 es una ilustración de un retransmisor de extremo a extremo ilustrativo que se multiplexa en el tiempo entre datos directos y datos de retorno, útil para comprender la invención.

La Fig. 15 es un diagrama de bloques de componentes de un retransmisor de extremo a extremo ilustrativo implementado como satélite, útil para comprender la invención.

La Fig. 16 es un diagrama de bloques de un transpondedor ilustrativo que incluye un desplazador de fase, útil para comprender la invención.

La Fig. 17 es un gráfico de patrones de intensidad de señal ilustrativos de varios elementos de antena, útil para comprender la invención.

La Fig. 18 es una ilustración de contornos de intensidad de señal de 3 dB ilustrativos para varios elementos de antena, útil para comprender la invención.

La Fig. 19 es una ilustración de patrones de intensidad de señal solapantes ilustrativos de varios elementos de antena, útil para comprender la invención.

Las Figs. 20A - 20E son una ilustración de contornos de intensidad de señal de 3 dB solapantes ilustrativos para varios elementos de antena, útiles para comprender la invención.

La Fig. 21 es una ilustración de una enumeración ilustrativa de 16 elementos de antena y sus contornos de intensidad de señal de 3 dB solapantes, útil para comprender la invención.

La Fig. 22 es una tabla que muestra mapeos ilustrativos de elementos de antena de recepción para transmitir elementos de antena a través de 16 transpondedores, útil para comprender la invención.

La Fig. 23 es una ilustración de una sección transversal de un reflector de antena parabólica y un conjunto de elementos centrados en el punto focal de la parábola, útil para comprender la invención.

La Fig. 24 es una ilustración de una sección transversal de un reflector de antena parabólica y un conjunto de elementos colocados lejos del punto focal de la parábola, útil para comprender la invención.

La Fig. 25 es una ilustración de un área de cobertura de retransmisor ilustrativa (mostrada con sombreado cruzado simple) y el área (mostrada con sombreado cruzado doble) definida por los puntos dentro del área de cobertura de retransmisor que también están contenidos dentro de seis áreas de cobertura de elementos de antena, útil para comprender la invención.

La Fig. 26 es una ilustración de un patrón de antena de retransmisor ilustrativo en el que todos los puntos dentro de un área de cobertura de retransmisor también están contenidos dentro de al menos cuatro áreas de cobertura de elementos de antena, útil para comprender la invención.

La Fig. 27 es una ilustración de una distribución ilustrativa de nodos de acceso (AN) y áreas de cobertura de haz de usuario, útil para comprender la invención.

La Fig. 28 es un gráfico ilustrativo de la capacidad de enlace directo y de retorno normalizada en función del número de AN desplegados, útil para comprender la invención.

La Fig. 29 es un diagrama de bloques de un segmento 502 terrestre ilustrativo para un sistema de formación de haces de extremo a extremo, útil para comprender la invención.

La Fig. 30 es un diagrama de bloques de un formador de haces directo/de retorno ilustrativo, útil para comprender la invención.

La Fig. 31 es un diagrama de bloques de un formador de haces directo ilustrativo que comprende múltiples formadores de haces de intervalo de tiempo de retorno con demultiplexación y multiplexación en el dominio de tiempo, útil para comprender la invención.

La Fig. 32 es una ilustración de un segmento terrestre ilustrativo simplificado que muestra el funcionamiento de un formador de haces de intervalo de tiempo directo, útil para comprender la invención.

La Fig. 33 es un diagrama de bloques de un formador de haces de retorno ilustrativo que comprende múltiples formadores de haces de intervalo de tiempo de retorno con demultiplexación y multiplexación en el dominio de tiempo, útil para comprender la invención.

La Fig. 34 es una ilustración de un segmento terrestre ilustrativo simplificado que muestra el funcionamiento de un formador de haces de retorno que emplea multiplexación en el dominio de tiempo, útil para comprender la invención.

La Fig. 35 es un diagrama de bloques de un formador de haces directo/de retorno multibanda ilustrativo que emplea demultiplexación y multiplexación de subbanda, útil para comprender la invención.

La Fig. 36 y la Fig. 37 son una ilustración de una alineación de temporización ilustrativo para el enlace directo, útiles para comprender la invención.

La Fig. 38 es un diagrama de bloques de un AN ilustrativo, útil para comprender la invención.

La Fig. 39 es un diagrama de bloques de parte de un ejemplo de un AN, útil para comprender la invención.

La Fig. 40 es un diagrama de bloques de un AN 515 ilustrativo en el que se procesan múltiples subbandas de frecuencia por separado, útil para comprender la invención.

La Fig. 41 es una ilustración de un sistema de formación de haces de extremo a extremo ilustrativo para permitir áreas de cobertura de enlace de usuario y de enlace alimentador distintas, útil para comprender la invención.

La Fig. 42 es una ilustración de un modelo ilustrativo de rutas de señal para señales que portan datos de retorno en el enlace de retorno de extremo a extremo, útil para comprender la invención.

La Fig. 43 es una ilustración de un modelo ilustrativo de rutas de señal para señales que portan datos directos en el enlace directo de extremo a extremo, útil para comprender la invención.

Las Figs. 44A y 44B son una ilustración de una ruta de señal directa y una ruta de señal de retorno ilustrativa, útiles respectivamente para comprender la invención.

Las Figs. 45A, 45B, 45C, 45D, 45E, 45F y 45G son ilustraciones de ejemplos de áreas de cobertura visibles de retransmisor de extremo a extremo, útiles para comprender la invención.

5 Las Figs. 46A y 46B son una ilustración de un ejemplo de un área de cobertura de la Tierra de extremo a extremo y un área de cobertura de América del Norte, respectivamente, útiles para comprender la invención.

10 Las Figs. 47A y 47B son respectivamente diagramas de bloques de una ruta de señal directa y una ruta de señal de retorno ilustrativa, teniendo cada una activación selectiva de múltiples subsistemas de antena de enlace de usuario, útil para comprender la invención.

15 Las Figs. 48A y 48B son una ilustración de un ejemplo de un área de cobertura de retransmisor de extremo a extremo que incluye múltiples áreas de cobertura de usuario activadas de forma selectiva, útil para comprender la invención.

Las Figs. 49A y 49B son, respectivamente, diagramas de bloques de rutas de señal directas y de retorno ilustrativos teniendo cada una activación selectiva de múltiples subsistemas de antena de enlace de usuario y múltiples subsistemas de antena de enlace alimentador, útil para comprender la invención.

20 Las Figs. 50A, 50B y 50C ilustran ejemplos de una o más áreas de cobertura de usuario con múltiples áreas de cobertura de nodo de acceso, útiles para comprender la invención.

25 Las Figs. 51A y 51B muestran respectivamente rutas de señal directas y de retorno ilustrativas, teniendo cada una activación selectiva de múltiples conjuntos de elementos de antena de enlace de usuario y múltiples conjuntos de elementos de antena de enlace alimentador, útiles para comprender la invención.

Las Figs. 52A y 52B muestran, respectivamente, rutas de señal de recepción/transmisión directas y de retorno para uso simultáneo de múltiples grupos de AN útiles para comprender la invención.

30 Las Figs. 53A y 53B ilustran transpondedores ilustrativos que permiten el acoplamiento selectivo entre múltiples elementos constituyentes de enlace alimentador y un único elemento constituyente de enlace de usuario, útiles para comprender la invención.

35 Las Figs. 54A y 54B ilustran transpondedores de enlace directo y de retorno, respectivamente, útiles para comprender la invención.

Las Figs. 55A, 55B y 55C ilustran transpondedores de bucle de retorno ilustrativos, útiles para comprender la invención.

40 La Fig. 56A ilustra un retransmisor de extremo a extremo que incluye uno o más reflectores, útil para comprender la invención.

La Fig. 56B ilustra un subsistema de antena con múltiples grupos de alimentación, útil para comprender la invención.

45 La Fig. 57 ilustra un subsistema de antena que incluye un reflector compuesto, útil para comprender la invención.

La Fig. 58 muestra un sistema de retransmisor de extremo a extremo con partes dispuestas en una o más plataformas marítimas (*p. ej.*, fijas o flotantes), útil para comprender la invención.

50 Las Figs. 59A y 59B son ilustraciones de ejemplos de áreas de cobertura visibles de retransmisor de extremo a extremo que soportan distintos intervalos de frecuencias, útiles para comprender la invención.

55 Las Figs. 60A y 60B muestran ejemplos de rutas de señal de recepción/transmisión directas/de retorno que soportan múltiples bandas de frecuencia, útiles para comprender la invención.

Las Figs. 61A y 61B muestran rutas de señal de recepción/transmisión directas/de retorno que soportan múltiples bandas de frecuencia, útiles para comprender la invención.

60 La Fig. 62 muestra un conjunto de elementos de antena ilustrativo con subconjuntos espacialmente intercalados de elementos de antena constituyentes, útil para comprender la invención.

Las Figs. 63A y 63B son ilustraciones de asignaciones de frecuencia ilustrativas, útiles para comprender la invención.

65 Las Figs. 64A y 64B son ilustraciones de asignaciones de frecuencia ilustrativas.

Las Figs. 65A y 64B son ilustraciones de asignaciones de frecuencia ilustrativas, útiles para comprender la invención.

Las Figs. 66A y 66B muestran ejemplos de rutas de señal de recepción/transmisión directas/de retorno, útiles para comprender la invención.

Los designadores de referencia (*p. ej.*, 100) se utilizan en la presente memoria para referirse a aspectos de los dibujos. Los aspectos similares o parecidos se muestran de forma típica utilizando números similares. Puede hacerse referencia colectivamente a un grupo de elementos similares o parecidos mediante un único designador de referencia (*p. ej.*, 200), mientras que puede hacerse referencia a los elementos individuales del grupo con el designador de referencia con una letra adjunta (*p. ej.*, 200a, 200b).

Las figuras no pretenden ser exhaustivas o limitar la invención reivindicada a la forma exacta descrita. El método y el aparato descritos pueden ponerse en práctica con modificaciones y alteraciones, y la invención está limitada únicamente por las reivindicaciones

Descripción detallada

Esta descripción detallada se organiza como sigue. En primer lugar, se describe una introducción a sistemas de comunicación de retransmisión inalámbricos utilizando comunicación y formación de haces de satélite. En segundo lugar, la formación de haces de extremo a extremo se describe de forma general y a nivel de sistema utilizando la formación de haces de extremo a extremo de satélite como ejemplo, aunque la aplicación de formación de haces de extremo a extremo no se limita a las comunicaciones por satélite. En tercer lugar, el funcionamiento de los datos directos y de retorno se describe en el contexto de la formación de haces de extremo a extremo. En cuarto lugar, los retransmisores de extremo a extremo y sus antenas se describen utilizando un satélite de comunicación como ejemplo. A continuación, se describen redes terrestres para formar los haces de extremo a extremo, incluyendo aspectos relacionados, tales como ecualización de retardo, eliminación de degradaciones de enlace alimentador y cálculo de ponderación de haces. Por último se describe la formación de haces de extremo a extremo con distintas áreas de cobertura de enlace de usuario y de enlace alimentador, así como sistemas con múltiples áreas de cobertura.

Comunicación por satélite

La Fig. 1 es una ilustración de un ejemplo de un sistema 100 de comunicación por satélite radial. El satélite sirve como un ejemplo de un retransmisor inalámbrico. Aunque se describen muchos ejemplos a lo largo de esta descripción en el contexto de un satélite o sistema de comunicación por satélite, no se pretende que tales ejemplos se limiten al satélite; puede utilizarse cualquier otro retransmisor inalámbrico adecuado y funcionar de forma similar. El sistema 100 comprende una estación 101 terrestre en tierra, un satélite 103 de comunicación y una fuente de transmisión terrestre, tal como un terminal 105 de usuario. Un área de cobertura de satélite puede definirse en sentido amplio como el área desde la que, y/o a la que, puede comunicarse ya sea una fuente de transmisión terrestre, o un receptor terrestre, tal como una estación terrestre en tierra o un terminal de usuario, a través del satélite. En algunos sistemas, el área de cobertura para cada enlace (*p. ej.*, área de cobertura de enlace ascendente directo, área de cobertura de enlace descendente directo, área de cobertura de enlace ascendente de retorno y/o área de cobertura de enlace descendente de retorno) puede ser distinta. El área de cobertura de enlace ascendente directo y el área de cobertura de enlace ascendente de retorno se denominan colectivamente área de cobertura de satélite de enlace ascendente. De forma similar, el área de cobertura de enlace descendente directo y el área de cobertura de enlace descendente de retorno se denominan colectivamente área de cobertura de satélite de enlace descendente. Mientras que el área de cobertura de satélite solo está activa para un satélite que está en servicio (*p. ej.*, en una órbita de servicio), puede considerarse que el satélite tiene (*p. ej.*, puede estar diseñado para tener) un patrón de antena de satélite que es independiente de la localización relativa del satélite con respecto a la Tierra. Es decir, el patrón de antena de satélite es un patrón de distribución de energía transmitida desde una antena de un satélite (o bien transmitido o bien recibido por la antena del satélite). El patrón de antena de satélite ilumina (transmite a o recibe desde) un área de cobertura de satélite particular cuando el satélite está en una órbita de servicio. El área de cobertura de satélite se define por el patrón de antena de satélite, una posición orbital y una actitud para la que se diseña el satélite, y un umbral de ganancia de antena dado. En general, la intersección de un patrón de antena (en una ganancia de antena efectiva particular, *p. ej.*, 3 dB, 4 dB, 6 dB 10 dB de la ganancia máxima) con una región física particular de interés (*p. ej.*, un área en, o cerca de, la superficie terrestre) define el área de cobertura para la antena. Las antenas pueden diseñarse para proporcionar un patrón de antena particular (y/o área de cobertura) y tales patrones de antena pueden determinarse computacionalmente (*p. ej.*, mediante análisis o simulación) y/o medirse experimentalmente (*p. ej.*, en un campo de pruebas de antenas o en uso real).

Aunque por simplicidad solo se muestra un terminal 105 de usuario en la figura, de forma típica hay muchos terminales 105 de usuario en el sistema. El sistema 100 de comunicación por satélite funciona como un sistema de punto a multipunto. Es decir, la estación 101 terrestre dentro del área de cobertura de satélite puede enviar información a, y recibir información desde, cualquiera de los terminales 105 de usuario dentro del área de cobertura de satélite. Sin embargo, los terminales 105 de usuario solo se comunican con la estación 101 terrestre. La estación 101 terrestre recibe datos directos desde una red 107 de comunicación, modula los datos utilizando un módem 109 de enlace alimentador y transmite los

datos al satélite 103 en un enlace 111 ascendente de alimentador directo. El satélite 103 retransmite estos datos directos a los terminales 105 de usuario en el enlace descendente 113 de usuario directo (a veces denominado enlace descendente de servicio directo). En algunos casos la comunicación de dirección directa desde la estación 101 terrestre está prevista para varios de los terminales 105 de usuario (*p. ej.*, la información difunde en multidifusión a los terminales 105 de usuario). En algunos casos, la comunicación directa desde la estación 101 terrestre se pretende para solo un terminal 105 de usuario (*p. ej.*, unidifusión a un terminal 105 de usuario particular). Los terminales 105 de usuario transmiten datos de retorno al satélite 103 en un enlace ascendente 115 de usuario de retorno (a veces denominado enlace ascendente de servicio de retorno). El satélite 103 retransmite los datos de retorno a la estación 101 terrestre en un enlace 117 descendente de alimentador de retorno. Un módem 109 de enlace alimentador demodula los datos de retorno, que se reenvían a la red 107 de comunicación. Esta capacidad de enlace de retorno es compartido de forma general por un número de terminales 105 de usuario.

La Fig. 2 es un diagrama que muestra un ejemplo de una configuración de áreas de cobertura de haz de un satélite para dar servicio a los Estados Unidos continentales. En la configuración ilustrativa se muestran setenta haces. Un primer haz 201 cubre aproximadamente dos tercios del estado de Washington. Un segundo haz 203 adyacente al primer haz 201 cubre un área inmediatamente al este del primer haz 201. Un tercer haz 205 cubre aproximadamente Oregón al sur del primer haz 201. Un cuarto haz 207 cubre un área aproximadamente al sureste del primer haz 201. De forma típica, hay algún solapamiento entre haces adyacentes. En algunos casos, se utiliza un patrón multicolor (*p. ej.*, patrón de reutilización de dos, tres o cuatro colores). En un ejemplo de un patrón de cuatro colores, los haces 201, 203, 205, 207 se asignan individualmente a una combinación única de frecuencia (*p. ej.*, un intervalo o intervalos de frecuencias o uno o más canales) y/o polarización de antena (*p. ej.*, en algunos casos una antena puede configurarse para transmitir señales con una right-hand circular polarization (polarización circular hacia la derecha - RHCP) o una left-hand circular polarization (polarización circular hacia la izquierda - LHCP); hay disponibles otras técnicas de polarización). Por lo tanto, puede haber relativamente poca interferencia mutua entre las señales transmitidas en distintos haces 201, 203, 205, 207. Estas combinaciones de frecuencia y polarización de antena pueden reutilizarse, a continuación, en el patrón de reutilización de "cuatro colores" no solapante y repetitivo. En algunas situaciones, puede conseguirse una capacidad de comunicación deseada utilizando un solo color. En algunos casos, puede utilizarse una compartición de tiempo entre haces y/u otras técnicas de mitigación de interferencias.

Dentro de algunos límites, enfocar haces en áreas más pequeñas y, por lo tanto, aumentar el número de haces, aumenta la capacidad de datos del satélite permitiendo una mayor oportunidad para la reutilización de frecuencia. Sin embargo, aumentar el número de haces puede aumentar la complejidad del sistema y, en muchos casos, la complejidad del satélite.

La complejidad en el diseño de un satélite de forma típica da como resultado un mayor tamaño, más peso y mayor consumo de potencia. Poner satélites en órbita es costoso. El coste de lanzamiento de un satélite viene determinado en parte por el peso y el tamaño del satélite. Además, existen límites absolutos en el peso y el tamaño de un satélite si el satélite ha de lanzarse utilizando la tecnología de cohetes disponible actualmente. Esto lleva a tener que hacer compromisos entre características que pueden diseñarse en un satélite. Además, la cantidad de potencia que puede proporcionarse a los componentes de un satélite es limitada. Por lo tanto, el peso, el tamaño y el consumo de potencia son parámetros que hay que considerar en el diseño de un satélite.

A lo largo de esta descripción, el término elemento de antena de recepción se refiere a un transductor físico que convierte una señal electromagnética en una señal eléctrica, y el término elemento de antena de transmisión se refiere a un transductor físico que inicia una señal electromagnética cuando es excitado por una señal eléctrica. El elemento de antena puede incluir una bocina, una bocina con polarización de septo (*p. ej.*, que puede funcionar como dos elementos combinados con polarizaciones distintos), una bocina multibanda y multipuerto (*p. ej.*, banda dual de 20 GHz/30 GHz con polarización dual LHCP/RHCP), una ranura alojada en cavidad, F invertida, guía de ondas ranurada, Vivaldi, helicoidal, de bucle, de parche o cualquier otra configuración de un elemento de antena o combinación de subelementos interconectados. Un elemento de antena tiene un patrón de antena correspondiente, que describe cómo varía la ganancia de la antena en función de la dirección (o ángulo). Un elemento de antena también tiene un área de cobertura que corresponde a un área (*p. ej.*, una parte de la superficie de la Tierra) o volumen (*p. ej.*, una parte de la superficie de la Tierra más espacio aéreo por encima de la superficie) sobre el que el elemento de la antena proporciona un nivel deseado de ganancia (*p. ej.*, dentro de 3 dB, 6 dB, 10 dB u otro valor en relación con una ganancia máximo del elemento de antena). El área de cobertura del elemento de antena puede modificarse mediante diversas estructuras tales como un reflector, una superficie selectiva de frecuencia, una lente, un radomo y similares. Algunos satélites, incluidos los descritos en la presente memoria, pueden tener varios transpondedores, cada uno capaz de recibir y transmitir señales de forma independiente. Cada transpondedor se acopla a elementos de antena (*p. ej.*, un elemento de recepción y un elemento de transmisión) para formar una ruta de señal de recepción/transmisión que tiene un patrón de radiación distinto (patrón de antena) de las otras rutas de señal de recepción/transmisión para crear haces únicos que pueden asignarse a distintas áreas de cobertura de haz. Es común que un único trayecto de señal de recepción/transmisión se comparta a través de múltiples haces utilizando multiplexores de entrada y/o salida. En ambos casos, el número de haces simultáneos que puede formarse está limitado de forma general por el número de rutas de señal de recepción/transmisión que se despliegan en el satélite.

Formación de haces

La formación de haces para un enlace de comunicación puede hacerse ajustando la fase de señal (o retardo de tiempo), y algunas veces la amplitud de señal, de señales transmitidas y/o recibidas por múltiples elementos de uno o más conjuntos de antena con áreas de cobertura superpuestas. En algunos casos, algunos o todos los elementos de antena se disponen como un conjunto de elementos de recepción y/o transmisión constituyentes que cooperan para permitir la formación de haces de extremo a extremo, como se describe a continuación. Para las transmisiones (desde los elementos de transmisión de los uno o más conjuntos de antenas), se ajustan las fases relativas y, a veces, las amplitudes, de las señales transmitidas, de modo que la energía transmitida por los elementos de antena de transmisión se superpondrá de forma constructiva en una localización deseada. Este ajuste de fase/amplitud se denomina comúnmente “aplicación de ponderaciones de haz” a las señales transmitidas. Para la recepción (por elementos de recepción del uno o más conjuntos de antenas), se ajustan las fases relativas y, a veces, las amplitudes, de las señales recibidas (*es decir*, se aplican las mismas o distintas ponderaciones de haz) de modo que la energía recibida desde una localización deseada por los elementos de antena de recepción se superpondrá de forma constructiva en esos elementos de antena de recepción. En algunos casos, el formador de haces calcula las ponderaciones deseadas de haz de elementos de antena. El término formación de haces puede referirse en algunos casos a la aplicación de las ponderaciones de haz. Los formadores de haces adaptables incluyen la función de cálculo dinámico de las ponderaciones de haz. Calcular las ponderaciones de haz puede requerir el descubrimiento directo o indirecto de las características del canal de comunicación. Los procesos de cálculo de ponderaciones de haz y de aplicación de ponderaciones de haz pueden realizarse en los mismos o en distintos elementos de sistema.

Los haces de antena pueden orientarse, formarse de forma selectiva y/o de otro modo reconfigurarse aplicando distintas ponderaciones de haz. Por ejemplo, el número de haces activos, el área de cobertura de haces, el tamaño de haces, la ganancia relativa de haces y otros parámetros pueden variar con el tiempo. Tal versatilidad resulta deseable en ciertas situaciones. Las antenas de formación de haces pueden formar generalmente haces relativamente estrechos. Los haces estrechos pueden permitir que las señales transmitidas en un haz se distingan de señales transmitidas en los otros haces (*p. ej.*, para evitar interferencias). Por lo tanto, los haces estrechos pueden permitir que la frecuencia y la polarización se reutilicen en mayor medida que cuando se forman haces más grandes. Por ejemplo, los haces que se forman estrechamente pueden dar servicio a dos áreas de cobertura no contiguas que no solapan. Cada haz puede utilizar tanto una polarización hacia la derecha como una polarización hacia la izquierda. Una reutilización mayor puede aumentar la cantidad de datos transmitidos y/o recibidos.

Algunos satélites utilizan on-board beamforming (formación de haces integrada - OBBF) para orientar electrónicamente un conjunto de elementos de antena. La Fig. 3 es una ilustración de un sistema 300 de satélite en el que el satélite 302 tiene una capacidad de formación de haces integrada de conjunto en fase de multi-feed per beam (alimentación múltiple por haz - MFPB). En este ejemplo, las ponderaciones de haz se calculan en un centro de cálculo terrestre y, a continuación, se transmiten al satélite o se almacenan previamente en el satélite para su aplicación (no mostrado). El enlace directo se muestra en la Fig. 3, aunque esta arquitectura puede utilizarse para enlaces directos, enlaces de retorno o tanto enlaces directos como de retorno. La formación de haces puede emplearse en el enlace de usuario, en el enlace alimentador o en ambos. El enlace directo ilustrado es la ruta de señal desde una de una pluralidad de gateways (pasarelas - GW) 304 a uno o más de una pluralidad de terminales de usuario dentro de una o más áreas 306 de cobertura de haz puntual. El satélite 302 tiene un conjunto 307 de antenas de recepción, un conjunto 309 de antenas de transmisión, un módulo 311 de convertidor descendente (D/C) y ganancia, un formador 313 de haces de recepción y un formador 315 de haces de transmisión. El satélite 302 puede formar haces tanto en el enlace 308 de alimentador como en el enlace 310 de usuario. Cada uno de los L elementos del conjunto 307 de recepción recibe K señales desde K GW 304. Para cada uno de los K haces de enlace alimentador que se crearán (*p. ej.*, un haz por pasarela 304), se aplica una ponderación de haz distinta (*p. ej.*, se hace un ajuste de fase/amplitud) por el formador 313 de haces de recepción a cada señal recibida por cada uno de los L elementos de conjunto de antenas de recepción (del conjunto 307 de antenas de recepción). Por lo tanto, para que se formen K haces utilizando un conjunto 307 de antenas de recepción que tiene L elementos de antena de recepción, se aplican K vectores de ponderación de haz distintos de longitud L restantes a las L señales recibidas por los L elementos de conjunto de antenas de recepción. El formador 313 de haces de recepción dentro del satélite 302 ajusta la fase/amplitud de las señales recibidas por los L elementos de conjunto de antenas de recepción para crear K señales de haces de recepción. Cada uno de los K haces de recepción se enfoca para recibir una señal desde una GW 304. Por lo tanto, el formador 313 de haces de recepción emite K señales de haz de recepción al módulo 311 de D/C y ganancia. Se forma una señal de haz de recepción de este tipo para la señal recibida desde cada pasarela 304 de transmisión.

El módulo 311 de D/C y ganancia convierte descendientemente cada una de las K señales de haz de recepción y ajusta la ganancia como proceda. Se emiten K señales desde el módulo 311 de D/C y ganancia y se acoplan al formador 315 de haces de transmisión. El formador 315 de haces de transmisión aplica un vector de L ponderaciones a cada una de las K señales para un total de $L \times K$ ponderaciones de haz de transmisiones para formar K haces en el enlace descendente 310 de usuario.

En algunos casos, puede ser necesaria una capacidad de procesamiento significativa en el satélite para controlar la fase y la ganancia de cada elemento de antena que se utiliza para formar los haces. Tal capacidad de procesamiento

aumenta la complejidad del satélite. En algunos casos, los satélites pueden funcionar con una ground-based beamforming (formación de haces en tierra - GBBF) para reducir la complejidad del satélite al tiempo que ofrece la ventaja de formar electrónicamente haces estrechos.

La Fig. 4 es una ilustración de un ejemplo de un sistema 400 de comunicación por satélite que tiene GBBF directa. La GBBF se lleva a cabo en el enlace 317 de usuario directo a través de un L conjunto de elementos similar al descrito anteriormente. Las fases/amplitudes de las señales transmitidas en el enlace 317 de usuario se ponderan de modo que se forman haces. El enlace 319 de alimentador utiliza un Single Feed per Beam (esquema de alimentación única por haz - SFPB) en el que cada elemento de antena de recepción y transmisión de una antena 324 está dedicado a un haz de enlace alimentador.

Antes de la transmisión desde una GW o unas GW 304, para cada uno de los K haces de enlace alimentador directo, un formador 321 de haces de transmisión aplica uno de los K vectores de ponderación de haz respectivos, cada uno de longitud L , a cada una de las K señales a transmitir. Determinar los K vectores de L ponderaciones y aplicar los mismos a las señales hace posible que se formen K haces directos en la tierra para el enlace 317 descendente de usuario directo. En el enlace 319 ascendente de alimentador, cada una de las L señales distintas se multiplexa a una señal frequency división multiplexed (multiplexada por división de frecuencia - FDM) por un multiplexor 323 (o similar). Cada señal FDM se transmite por las GW 304 a uno de los elementos de antena de recepción en la antena 324 en el enlace 319 de alimentador. Un receptor 325 FDM en el satélite 327 recibe las señales desde la antena 324. Un convertidor 326 de analógico a digital (A/D) convierte las señales analógicas recibidas a señales digitales. Un procesador 328 de canal digital demultiplexa las señales FDM, cada una de las cuales fue ponderada adecuadamente por el formador 321 de haces para la transmisión a través de uno de los L elementos de un conjunto de elementos de antena de transmisión de una antena 329 de transmisión. El procesador 328 de canal digital emite las señales a un convertidor 331 de digital a analógico (D/A) para ser convertido de vuelta a forma analógica. Las salidas analógicas del D/A 331 se convierten de forma ascendente y se amplifican mediante una etapa 330 de convertidor ascendente (U/C) y ganancia y se transmiten mediante el elemento asociado de la antena 329 de transmisión. Se produce un proceso complementario a la inversa para los haces de retorno. Obsérvese que en este tipo de sistema, el enlace alimentador FDM requiere L veces más ancho de banda que los haces de usuario, haciendo que sea poco práctico para sistemas con anchos de banda de datos anchos o sistemas que tienen una gran cantidad de elementos L .

Sistemas de formación de haces de extremo a extremo

Los sistemas de formación de haces de extremo a extremo descritos en la presente memoria forman haces de extremo a extremo a través de un retransmisor de extremo a extremo. Un sistema de formación de haces de extremo a extremo puede conectar terminales de usuario con fuentes/sumideros de datos. En contraste con los sistemas de formación de haces analizados anteriormente, en un sistema de formación de haces de extremo a extremo, las ponderaciones de haz se calculan en un central processing system (sistema central de procesamiento - CPS) y las ponderaciones de haz de extremo a extremo se aplican dentro de la red terrestre (en vez de en un satélite). Las señales dentro de los haces de extremo a extremo se transmiten y reciben en un conjunto de access nodes (nodos de acceso - AN), que pueden ser satellite access node (nodos de acceso por satélite - SAN). Como se ha descrito anteriormente, puede utilizarse cualquier tipo adecuado de retransmisores de extremo a extremo en un sistema de formación de haces de extremo a extremo, y pueden utilizarse distintos tipos de AN para comunicarse con distintos tipos de retransmisores de extremo a extremo. El término "central" se refiere al hecho de que el CPS es accesible para los AN que están implicados en la transmisión y/o recepción de señales, y no se refiere a una localización geográfica particular en la que reside el CPS. Un formador de haces dentro de un CPS calcula un conjunto de ponderaciones de haz de extremo a extremo que tiene en cuenta: (1) las rutas de enlace ascendente de señal inalámbrica hasta el retransmisor de extremo a extremo; (2) las rutas de señal de recepción/transmisión a través del retransmisor de extremo a extremo; y (3) las rutas de enlace descendente de señal inalámbrica hasta el retransmisor de extremo a extremo. Las ponderaciones de haz pueden representarse matemáticamente como una matriz. Como se ha explicado anteriormente, los sistemas de satélite de OBBF y GBBF tienen dimensiones de vectores de ponderación de haz establecidas por el número de elementos de antena en el satélite. En contraste, los vectores de ponderación de haz de extremo a extremo tienen dimensiones establecidas por el número de AN, no el número de elementos en el retransmisor de extremo a extremo. En general, el número de AN no es el mismo que el número de elementos de antena en el retransmisor de extremo a extremo. Además, los haces de extremo a extremo formados no se terminan en los elementos de antena de transmisión o recepción del retransmisor de extremo a extremo. Más bien, los haces de extremo a extremo formados se retransmiten de forma efectiva, dado que los haces de extremo a extremo tienen rutas de señal de enlace ascendente, transmiten rutas de señal (a través de un satélite u otro retransmisor de extremo a extremo adecuado) y rutas de señal de enlace descendente.

Debido a que la formación de haces de extremo a extremo tiene en cuenta tanto el enlace de usuario como el enlace alimentador (así como el retransmisor de extremo a extremo) solo se necesita un único conjunto de ponderaciones de haz para formar los haces de usuario de extremo a extremo deseados en una dirección particular (*p. ej.*, haces de usuario directos o de retorno). Por lo tanto, un conjunto de ponderaciones de haz directo de extremo a extremo (en lo sucesivo denominadas simplemente ponderaciones de haz directo) da lugar a que las señales transmitidas desde los AN, a través del enlace ascendente directo, a través del retransmisor de extremo a extremo y a través del enlace descendente directo se combinan para formar los haces de usuario directos de extremo a extremo (a continuación en la memoria, haces de usuario directos). Por el contrario, las señales transmitidas desde los usuarios de retorno a través

del enlace ascendente de retorno, a través del retransmisor de extremo a extremo y el enlace descendente de retorno tienen ponderaciones de haz de retorno de extremo a extremo (a continuación en la memoria, ponderaciones de haz de retorno) aplicadas para formar los haces de usuario de retorno de extremo a extremo (a continuación en la memoria, haces de usuario de retorno). En algunas condiciones, puede ser muy difícil o imposible distinguir entre las características del enlace ascendente y el enlace descendente. Por lo tanto, los haces de enlace alimentador formados, la directividad de haz de usuario formada y la relación de portadora de enlace ascendente y enlace descendente individual a interferencia (C/I) puede ya no tener su función tradicional en el diseño del sistema, mientras que los conceptos de relación de señal de enlace ascendente y enlace descendente a ruido (Es/No) y C/I de extremo a extremo pueden aún ser relevantes.

La Fig. 5 es una ilustración de un sistema 500 de formación de haces de extremo a extremo ilustrativo. El sistema 500 incluye: un segmento 502 terrestre; un retransmisor 503 de extremo a extremo; y una pluralidad de terminales 517 de usuario. El segmento 502 terrestre comprende MAN 515, distribuidos geográficamente en un área de AN. Los AN 515 cooperan en la transmisión de señales 521 de enlace ascendente directo para formar haces 519 de usuario y las señales 527 de enlace descendente de retorno se procesan colectivamente para recuperar las transmisiones 525 de enlace ascendente de retorno. Un conjunto de AN 515 que están dentro de un área de AN distinta (*p. ej.*, separada geográficamente o de forma ortogonalmente) y cooperan para realizar la formación de haces de extremo a extremo para los haces de usuario directos y/o de retorno se denomina en la presente memoria "agrupación de AN". En algunos ejemplos, también pueden cooperar múltiples grupos de AN en distintas áreas de AN. Los grupos de AN también pueden denominarse "parques de AN" o "parques de SAN". Los AN 515 y los terminales 517 de usuario pueden denominarse colectivamente receptores terrestres, transmisores terrestres o transceptores terrestres, dependiendo de la funcionalidad particular en cuestión, dado que están situados en, o cerca de, la Tierra y ambos transmiten y reciben señales. En algunos casos, los terminales 517 de usuario y/o los AN 515 pueden estar situados en aeronaves, embarcaciones o montarse en vehículos terrestres, etc. En algunos casos, los terminales 517 de usuario pueden estar distribuidos geográficamente. Los AN 515 pueden estar distribuidos geográficamente. Los AN 515 intercambian señales con un CPS 505 dentro del segmento 502 terrestre a través de una red 518 de distribución. El CPS 505 se conecta a una fuente de datos (no mostrada), tal como, por ejemplo, la internet, una cabecera de vídeo u otra entidad de este tipo.

Los terminales 517 de usuario pueden agruparse con otros terminales 517 de usuario cercanos (*p. ej.*, como se ilustra por los terminales 517a y 517b de usuario). En algunos casos, tales grupos de terminales 517 de usuario son servidos por el mismo haz de usuario y, por lo tanto, residen dentro de la misma área geográfica 519 de cobertura de haz de usuario directa y/o de retorno. Un terminal 517 de usuario está dentro de un haz de usuario si el terminal 517 de usuario está dentro del área de cobertura servida por ese haz de usuario. Aunque en la Fig. 5 se muestra que tal área 519 de cobertura de haz de usuario tiene más de un terminal 517 de usuario, en algunos casos, un área 519 de cobertura de haz de usuario puede tener cualquier número adecuado de terminales 517 de usuario. Además, la representación en la Fig. 5 no pretende indicar el tamaño relativo de distintas áreas 519 de cobertura de haz de usuario. Es decir, las áreas 519 de cobertura de haz de usuario pueden ser todas aproximadamente del mismo tamaño. De forma alternativa, las áreas 519 de cobertura de haz de usuario pueden tener tamaños variables, con algunas áreas 519 de cobertura de haz de usuario mucho más grandes que otras. En algunos casos, el número de AN 515 no es igual al número de áreas 519 de cobertura de haz de usuario.

El retransmisor 503 de extremo a extremo retransmite señales de forma inalámbrica entre los terminales 517 de usuario y un número de nodos de acceso de red, tales como los AN 515 mostrados en la Fig. 5. El retransmisor 503 de extremo a extremo tiene una pluralidad de rutas de señal. Por ejemplo, cada ruta de señal puede incluir al menos un elemento de antena de recepción, al menos un elemento de antena de transmisión y al menos un transpondedor (como se explica en detalle a continuación). En algunos casos, la pluralidad de elementos de antena de recepción están dispuestos para recibir señales reflejadas por un reflector de recepción para formar un conjunto de antenas de recepción. En algunos casos, la pluralidad de elementos de antena de transmisión está dispuesto para transmitir señales y, por lo tanto, para formar un conjunto de antenas de transmisión.

En algunos casos, el retransmisor 503 de extremo a extremo se proporciona en un satélite. En otros casos, el retransmisor 503 de extremo a extremo se proporciona en una aeronave, dirigible, torre, estructura submarina o cualquier otra estructura o vehículo adecuado en el que puede residir un retransmisor 503 de extremo a extremo. En algunos casos, el sistema utiliza distintos intervalos de frecuencias (en la misma o distintas bandas de frecuencia) para los enlaces ascendentes y enlaces descendentes. En algunos casos, los enlaces de alimentador y los enlaces de usuario están en distintos intervalos de frecuencias. En algunos casos, el retransmisor 503 de extremo a extremo actúa como un reflector pasivo o activo.

Como se describe en la presente memoria, diversas características del retransmisor 503 de extremo a extremo habilitan la formación de haces de extremo a extremo. Una característica es que el retransmisor 503 de extremo a extremo incluye múltiples transpondedores que, en el contexto de los sistemas de formación de haces de extremo a extremo, inducen ruta múltiple entre los AN 515 y los terminales 517 de usuario. Otra característica es que las antenas (*p. ej.*, uno o más subsistemas de antena) del retransmisor 503 de extremo a extremo contribuyen a la formación de haces de extremo a extremo, de modo que los haces de usuario directos y/o de retorno se forman cuando las señales con ponderación de haz correcta se comunican a través de la ruta múltiple inducida por el retransmisor 503 de extremo a

extremo. Por ejemplo, durante las comunicaciones directas, cada uno de los múltiples transpondedores recibe un respectivo compuesto superpuesto de señales 521 de enlace ascendente directo (con ponderación de haz) desde múltiples (*p. ej.*, todos) de los AN 515 (denominados en la presente memoria como señales directas de entrada compuestas) y los transpondedores emiten las correspondientes señales compuestas (denominadas en la presente memoria como señales de enlace descendente directo). Cada una de las señales de enlace descendente directo puede ser un compuesto único de las señales 521 de enlace ascendente directo con ponderación de haz, que, cuando se transmiten mediante los elementos de antena de transmisión del retransmisor 503 de extremo a extremo, se superponen para formar los haces 519 del usuario en las localizaciones deseadas (*p. ej.*, localizaciones de recuperación dentro de los haces de usuario directos, en este caso). La formación de haces de retorno de extremo a extremo se permite de forma similar. Por lo tanto, el retransmisor 503 de extremo a extremo puede hacer que se produzcan múltiples superposiciones, posibilitando de este modo la formación de haces de extremo a extremo a través de canales de ruta múltiple inducidos.

Datos de retorno

La Fig. 6 es una ilustración de un modelo ilustrativo de rutas de señal para señales que portan datos de retorno en el enlace de retorno de extremo a extremo. Los datos de retorno son los datos que fluyen desde los terminales 517 de usuario hasta los AN 515. Las señales de la Fig. 6 fluyen de derecha a izquierda. Las señales se originan con los terminales 517 de usuario. Los terminales 517 de usuario transmiten las señales 525 de enlace ascendente de retorno (que tienen flujos de datos de usuario de retorno) hasta el retransmisor 503 de extremo a extremo. Las señales 525 de enlace ascendente de retorno desde los terminales 517 de usuario en K áreas 519 de cobertura de haz de usuario se reciben por un conjunto de L rutas 1702 de señal de recepción/transmisión. En algunos casos, un área de cobertura de enlace ascendente para el retransmisor 503 de extremo a extremo es definido por ese conjunto de puntos desde los que todos los L elementos 406 de antena de recepción pueden recibir señales. En otros casos, el área de cobertura de retransmisor es definida por ese conjunto de puntos desde los que un subconjunto (*p. ej.*, un número deseado mayor que 1, pero menor que todos) de los L elementos 406 de antena de recepción puede recibir señales. De forma similar, en algunos casos, el área de cobertura de enlace descendente es definida por el conjunto de puntos a los que todos los L elementos 409 de antena de transmisión pueden enviar señales de forma fiable. En otros casos, el área de cobertura de enlace descendente para el retransmisor 503 de extremo a extremo se define como ese conjunto de puntos a los que un subconjunto de los elementos 409 de antena de transmisión puede enviar señales de forma fiable. En algunos casos, el tamaño del subconjunto de los elementos 406 de antena de recepción o los elementos 409 de antena de transmisión es al menos cuatro. En otros casos, el tamaño del subconjunto es 6, 10, 20, 100 o cualquier otro número que proporcione el rendimiento del sistema deseado.

Para una mayor simplicidad, se describen e/o ilustran algunos ejemplos como todos los L elementos 406 de antena de recepción que reciben señales desde todos los puntos en el área de cobertura de enlace ascendente y/o todos los L elementos 409 de antena de transmisión que transmiten a todos los puntos en el área de cobertura de enlace descendente. Dichas descripciones no pretenden requerir que todos los L elementos de salida reciban y/o transmitan señales a un nivel de señal significativo. Por ejemplo, en algunos casos, un subconjunto de los L elementos 406 de antena de recepción recibe una señal de enlace ascendente (*p. ej.*, una señal 525 de enlace ascendente de retorno desde un terminal 517 de usuario o una señal 521 de enlace ascendente directo desde un AN 515), de modo que el subconjunto de elementos 406 de antena de recepción recibe la señal de enlace ascendente a un nivel de señal que está cerca de un nivel máximo de señal recibido de la señal de enlace ascendente (*p. ej.*, no sustancialmente menor que el nivel de señal que corresponde a la señal de enlace ascendente que tiene el nivel de señal más alto); otros de los L elementos 406 de antena de recepción que no están en el subconjunto reciben la señal de enlace ascendente en un nivel apreciablemente más bajo (*p. ej.*, muy por debajo del nivel de señal máximo recibido de la señal de enlace ascendente). En algunos casos, la señal de enlace ascendente recibida por cada elemento de antena de recepción de un subconjunto está a un nivel de señal dentro de 10 dB de un nivel de señal máximo recibido por cualquiera de los elementos 406 de antena de recepción. En algunos casos, el subconjunto incluye al menos el 10 % de los elementos 406 de antena de recepción. En algunos casos, el subconjunto incluye al menos 10 elementos 406 de antena de recepción.

De forma similar, en el lado de transmisión, un subconjunto de los L elementos 409 de antena de transmisión transmite una señal de enlace descendente a un receptor terrestre (*p. ej.*, una señal 527 de enlace descendente de retorno a un AN 515, o una señal 522 de enlace descendente directo a un terminal 517 de usuario), de modo que el subconjunto de elementos 409 de antena de transmisión transmite la señal de enlace descendente al receptor con un nivel de señal recibido que está cerca de un nivel de señal transmitido máximo de la señal de enlace descendente (*p. ej.*, no sustancialmente menor que el nivel de señal que corresponde a la señal de enlace descendente que tiene el nivel más alto de señal recibida); otros de los L elementos 409 de antena de transmisión que no están en el subconjunto transmiten la señal de enlace descendente de modo que se recibe en un nivel apreciablemente más bajo (*p. ej.*, muy por debajo del nivel de señal transmitido máximo de la señal de enlace descendente). En algunos casos, el nivel de señal está dentro de 3 dB de un nivel de señal que corresponde a una ganancia máxima del elemento 409 de antena de transmisión. En otros casos, el nivel de señal está dentro de 6 dB del nivel de señal que corresponde a una ganancia máxima del elemento 409 de antena de transmisión. En otros casos más, el nivel de señal está dentro de 10 dB del nivel de señal que corresponde a una ganancia máxima del elemento 409 de antena de transmisión.

En algunos casos, la señal recibida por cada elemento 406 de antena de recepción se origina en la misma fuente (*p. ej.*, uno de los terminales 517 de usuario) debido al solapamiento en el patrón de la antena de recepción de cada elemento de antena de recepción. Sin embargo, en algunos casos, puede haber puntos dentro del área de cobertura de retransmisor de extremo a extremo en la que está situado un terminal de usuario y desde los que no todos los elementos de antena de recepción pueden recibir la señal. En algunos de tales casos, puede haber un número significativo de elementos de antena de recepción que no reciben (o no pueden recibir) la señal desde los terminales de usuario que están dentro del área de cobertura de retransmisor de extremo a extremo. Sin embargo, como se describe en la presente memoria, inducir ruta múltiple mediante el retransmisor 503 de extremo a extremo puede depender de recibir la señal por al menos dos elementos de recepción.

Como se muestra en la Fig. 6 y se explica con mayor detalle a continuación, en algunos casos, una ruta 1702 de señal de recepción/transmisión comprende un elemento 406 de antena de recepción, un transpondedor 410 y un elemento 409 de antena de transmisión. En tales casos, las señales 525 de enlace ascendente de retorno son recibidas por cada uno de una pluralidad de transpondedores 410 a través de un elemento 406 de antena de recepción respectivo. La salida de cada ruta 1702 de señal de recepción/transmisión es una señal 527 de enlace descendente de retorno que corresponde a un compuesto respectivo de señales de enlace ascendente de retorno recibidas. La señal de enlace descendente de retorno es creada por la ruta 1702 de señal de recepción/transmisión. La señal 527 de enlace descendente de retorno se transmite al conjunto de M AN 515. En algunos casos, los AN 515 se colocan en localizaciones geográficamente distribuidas (*p. ej.*, localizaciones de recepción o recuperación) en toda el área de cobertura de retransmisor de extremo a extremo. En algunos casos, cada transpondedor 410 acopla uno de los elementos 406 de antena de recepción respectivos con uno de los elementos 409 de antena de transmisión respectivos. Por lo tanto, hay L formas distintas de que una señal vaya desde un terminal 517 de usuario situado en un área 519 de cobertura de haz de usuario hasta un AN 515 particular. Esto crea L rutas entre un terminal 517 de usuario y un AN 515. Las L rutas entre un terminal 517 de usuario y un AN 515 se denominan colectivamente un canal 1908 de ruta múltiple de retorno de extremo a extremo (véase la Fig. 8). Por lo tanto, recibir la señal 525 de enlace ascendente de retorno desde una localización de transmisión dentro de un área 519 de cobertura de haz de usuario, a través de los L transpondedores 410, crea las L señales 527 de enlace descendente de retorno, cada una transmitida desde uno de los transpondedores 410 (es decir, a través de las L rutas de comunicación colocalizadas). Cada canal 1908 de ruta múltiple de retorno de extremo a extremo se asocia con un vector en la matriz de radiación de enlace ascendente $\mathbf{A}_r$, la matriz de carga útil $\mathbf{E}$ y un vector en la matriz de radiación de enlace descendente $\mathbf{C}_t$. Obsérvese que, debido a los patrones de cobertura de elemento de antena, en algunos casos, algunas de las L rutas pueden tener relativamente poca energía (*p. ej.*, 6 dB, 10 dB, 20 dB, 30 dB o cualquier otra relación de potencia adecuada menor que otras rutas). Se recibe una superposición 1706 de la señal 527 de enlace descendente de retorno en cada uno de los AN 515 (*p. ej.*, en M localizaciones de recepción o recuperación distribuidas geográficamente). Cada señal 527 de enlace descendente de retorno comprende una superposición de una pluralidad de las señales 527 de enlace descendente de retorno transmitidas, dando lugar a una señal de retorno compuesta respectiva. Las respectivas señales de retorno compuestas se acoplan al formador 531 de haces de retorno (véanse las Figs. 5 y 29).

La Fig. 7 ilustra un enlace 523 de retorno de extremo a extremo ilustrativo desde un terminal 517 de usuario situado dentro de un área 519 de cobertura de haz de usuario hasta los AN 515. La señal 525 de enlace ascendente de retorno transmitida desde el terminal 517 de usuario es recibida por el conjunto de L elementos 406 de antena de recepción en el retransmisor 503 de extremo a extremo (*p. ej.*, o es recibida por un subconjunto de los L elementos 406 de antena de recepción).

$\mathbf{A}_r$ es la matriz de radiación de enlace ascendente de retorno $L \times K$. Los valores del modelo de matriz de radiación de enlace ascendente de retorno modelan la ruta de señal desde una localización de referencia en el área 519 de cobertura de haz de usuario hasta los elementos 406 de antena de recepción de retransmisor de extremo a extremo. Por ejemplo, $\mathbf{A}_{r,1}$ es el valor de un elemento de la matriz de radiación de enlace ascendente de retorno (es decir, la amplitud y fase de la ruta) desde una localización de referencia en la 1ª área 519 de cobertura de haz de usuario hasta el L^{simo} elemento de antena de recepción. En algunos casos, todos los valores en la matriz de radiación de enlace ascendente de retorno $\mathbf{A}_r$ pueden ser distintos de cero (*p. ej.*, existe una ruta de señal significativa desde la localización de referencia a cada uno de los elementos de antena de recepción del conjunto de antenas de recepción).

$\mathbf{E}$ (dimensión $L \times L$) es la matriz de carga útil y proporciona el modelo (amplitud y fase) de las rutas desde los elementos 406 de antena de recepción hasta los elementos 409 de antena de transmisión. Una "carga útil" de un retransmisor 503 de extremo a extremo, como se utiliza en la presente memoria, incluye de forma general el conjunto de componentes del retransmisor 503 de extremo a extremo que afecta, y/o se ve afectado por, las comunicaciones de señal a medida que son recibidas por, se retransmiten a través de, y se transmiten desde, el retransmisor 503 de extremo a extremo. Por ejemplo, una carga útil de retransmisor de extremo a extremo puede incluir elementos de antena, reflectores, transpondedores, etc.; pero el retransmisor de extremo a extremo puede incluir además baterías, células solares, sensores y/u otros componentes no considerados en la presente memoria como parte de la carga útil (dado que no afectan a las señales cuando funcionan normalmente). La consideración del conjunto de componentes como una carga útil puede hacer posible modelizar matemáticamente el impacto general del retransmisor de extremo a extremo como

una única matriz de carga útil **E**). La ruta predominante desde cada elemento 406 de antena de recepción hasta cada elemento 409 de antena de transmisión correspondiente es modelizado mediante el valor que se encuentra en la diagonal de la matriz de carga útil **E**. Suponiendo que no existe ninguna diafonía entre las rutas de señal de recepción/transmisión, los valores fuera de la diagonal de la matriz de carga útil son cero. En algunos casos, la diafonía puede no ser cero. Aislar las rutas de señal entre sí minimizará la diafonía. En algunos casos, dado que la diafonía es despreciable, la matriz de carga útil **E** puede estimarse mediante una matriz diagonal. En algunos casos, los valores fuera de diagonal (o cualquier otro valor adecuado) de la matriz de carga útil pueden tratarse como cero, incluso donde haya algún impacto de señal que corresponda a esos valores, para reducir la complejidad matemática y/o por otros motivos.

Ct es la matriz de radiación de enlace descendente de retorno $M \times L$. Los valores de la matriz de radiación de enlace descendente de retorno modelizan las rutas de señal de los elementos 409 de antena de transmisión a los AN 515. Por ejemplo, $Ct_{3,2}$ es el valor de la matriz de radiación de enlace descendente de retorno (*p. ej.*, la ganancia y la fase de la ruta) desde el segundo elemento 409₂ de antena de transmisión hasta el tercer AN 515₃. En algunos casos, todos los valores de la matriz de radiación de enlace descendente **Ct** pueden ser distintos de cero. En algunos casos, algunos de los valores de la matriz de radiación de enlace descendente **Ct** son esencialmente cero (*p. ej.*, el patrón de antena establecido por unos elementos 409 de antena de transmisión correspondientes del conjunto de antenas de transmisión es tal que el elemento 409 de antena de transmisión no transmite señales útiles a algunos de los AN 515).

Como puede verse en la Fig. 7, el canal de ruta múltiple de retorno de extremo a extremo desde un terminal 517 de usuario en un área 519 de cobertura de haz de usuario particular hasta un AN 515 particular es la suma de las L rutas distintas. El canal de ruta múltiple de retorno de extremo a extremo tiene ruta múltiple inducida por las L rutas únicas a través de los transpondedores 410 en el retransmisor de extremo a extremo. Como sucede con muchos canales de ruta múltiple, las amplitudes y las fases de las rutas pueden añadirse favorablemente (constructivamente) para producir una gran ganancia de canal de extremo a extremo o para producir desfavorablemente (destructivamente) una baja ganancia de canal de extremo a extremo. Cuando el número de rutas distintos, L , entre un terminal de usuario y una AN es grande, la ganancia de canal de extremo a extremo puede tener una distribución de Rayleigh de la amplitud. Con una distribución de este tipo, no es infrecuente ver algunas ganancias de canal de extremo a extremo desde un terminal 517 de usuario particular hasta un AN 515 particular que están 20 dB o más por debajo del nivel promedio de la ganancia de canal desde un terminal 517 de usuario a un AN 515. Este sistema de formación de haces de extremo a extremo induce intencionadamente un entorno de ruta múltiple para la ruta de extremo a extremo desde cualquier terminal de usuario a cualquier AN.

La Fig. 8 es una ilustración simplificada de un modelo ilustrativo de todos los canales de ruta múltiple de retorno de extremo a extremo desde las áreas 519 de cobertura de haz de usuario hasta los AN 515. Existen $M \times K$ de tales canales de ruta múltiple de retorno de extremo a extremo en el enlace de retorno de extremo a extremo (es decir, M desde cada una de las K áreas 519 de cobertura de haz de usuario). Los canales 1908 conectan los terminales de usuario en un área 519 de cobertura de haz de usuario a un AN 515 a través de L rutas 1702 de señales de recepción/transmisión distintas, yendo cada ruta a través de una diferente de las L rutas de señal de recepción/transmisión (y transpondedores asociados) del retransmisor. Aunque este efecto se denomina "ruta múltiple" en la presente memoria, esta ruta múltiple difiere de la ruta múltiple convencional ([*p. ej.*, en un sistema de radio móvil o de multiple-input multiple-output (entrada múltiple y salida múltiple - MIMO)], ya que las rutas múltiples en la presente memoria se inducen intencionadamente (y, como se describe en la presente memoria, se ven afectadas) por las L rutas de señal de recepción/transmisión. Cada uno de los $M \times K$ canales de ruta múltiple de retorno de extremo a extremo que se originan desde un terminal 517 de usuario dentro de un área 519 de cobertura de haz de usuario particular puede estar modelizados por un canal de ruta múltiple de retorno de extremo a extremo. Cada uno de tales canales de ruta múltiple de retorno de extremo a extremo es desde una localización de referencia (o recuperación) dentro del área 519 de cobertura de haz de usuario hasta uno de los AN 515.

Cada uno de los $M \times K$ canales 1908 de ruta múltiple de retorno de extremo a extremo puede modelizarse individualmente para calcular un elemento correspondiente de una matriz de canal de retorno $M \times K$ **Hret**. La matriz de canal de retorno **Hret** tiene K vectores, teniendo cada uno una dimensionalidad igual a M , de modo que cada vector modeliza las ganancias de canal de retorno de extremo a extremo para comunicaciones de ruta múltiple entre una localización de referencia en K áreas de cobertura de haz de usuario respectivas y los M AN 515. Cada canal de ruta múltiple de retorno de extremo a extremo acopla uno de los M AN 515 con una localización de referencia dentro de uno de los K haces de usuario de retorno a través de los L transpondedores 410 (véase la Fig. 7). En algunos casos, se utiliza únicamente un subconjunto de los L transpondedores 410 en el retransmisor 503 de extremo a extremo para crear el canal de ruta múltiple de retorno de extremo a extremo (*p. ej.*, se considera que solo un subconjunto está en la ruta de señal contribuyendo una energía significativa al canal de ruta múltiple de retorno de extremo a extremo). En algunos casos, el número K de haces de usuario es mayor que el número L de transpondedores que está en la ruta de señal del canal de ruta múltiple de retorno de extremo a extremo. Además, en algunos casos, el número M de AN es mayor que el número L de transpondedores que está en la ruta de señal del canal 1908 de ruta múltiple de retorno de extremo a extremo. En un ejemplo, el elemento $Hret_{4,2}$ de la matriz de canal de retorno **Hret** se asocia al canal desde una localización de referencia en la segunda área 1903 de cobertura de haz de usuario hasta el cuarto AN 1901. La matriz **Hret** modeliza el canal de extremo a extremo como el producto de las matrices **Ct** $\times$ **E** $\times$ **Ar** (véase la Fig. 6). Cada elemento **Hret** modeliza la ganancia de

extremo a extremo de un canal 1908 de ruta múltiple de retorno de extremo a extremo. Debido a la naturaleza de ruta múltiple del canal, el canal puede estar sujeto a un desvanecimiento profundo. Los haces de usuario de retorno pueden estar formados por el CPS 505. El CPS 505 calcula las ponderaciones de haz de retorno basándose en el modelo de estas $M \times K$ rutas de señal y forma los haces de usuario de retorno aplicando las ponderaciones de haz de retorno a la pluralidad de señales de retorno compuestas, calculándose cada ponderación para cada canal de ruta múltiple de retorno de extremo a extremo que acopla los terminales 517 de usuario en un área de cobertura de haz de usuario con uno de la pluralidad de AN 515. En algunos casos, las ponderaciones de haz de retorno se calculan antes de recibir la señal de retorno compuesta. Hay un enlace de retorno de extremo a extremo desde cada una de las K áreas 519 de cobertura de haz de usuario hasta los M AN 515. La ponderación (es decir, la fase/amplitud relativa compleja) de cada una de las señales recibidas por los M AN 515 permite que las señales se combinen para formar un haz de usuario de retorno utilizando la capacidad de formación de haces del CPS 505 dentro del segmento 502 terrestre. El cálculo de la matriz de ponderación de haz se utiliza para determinar cómo ponderar cada canal 1908 de ruta múltiple de retorno de extremo a extremo, para formar la pluralidad de haces de usuario de retorno, como se describe con más detalle a continuación. Los haces de usuario no se forman ajustando directamente la fase y amplitud relativas de las señales transmitidas por un elemento de antena de retransmisor de extremo a extremo con respecto a la fase y amplitud de las señales transmitidas por los otros elementos de antena de retransmisor de extremo a extremo. Más bien, los haces de usuario se forman aplicando las ponderaciones asociadas con la matriz de canal $M \times K$ a las M señales de AN. Es la pluralidad de AN que proporcionan la diversidad de rutas de recepción, único transmisor (terminal de usuario) a múltiples receptores (AN), para permitir la transmisión satisfactoria de información desde cualquier terminal de usuario en presencia del canal de ruta múltiple inducido intencionadamente.

Datos directos

La Fig. 9 es una ilustración de un modelo ilustrativo de rutas de señal para señales que transportan datos directos en el enlace 501 directo de extremo a extremo. Los datos directos son los datos que fluyen desde los AN 515 hasta los terminales 517 de usuario. Las señales en esta figura fluyen de derecha a izquierda. Las señales se originan con M AN 515, que se sitúan en la proyección del retransmisor 503 de extremo a extremo. Existen K áreas 519 de cobertura de haz de usuario. Las señales de cada AN 515 se transmiten mediante L rutas 2001 de señal de recepción/transmisión.

Las rutas 2001 de señal de recepción/transmisión transmiten una señal retransmitida a los terminales 517 de usuario en las áreas 519 de cobertura de haz de usuario. Por lo tanto, puede haber L distintas formas para que una señal vaya desde un AN 515 particular hasta un terminal 517 de usuario situado en un área 519 de cobertura de haz de usuario. Esto crea L rutas entre cada AN 515 y cada terminal 517 de usuario. Obsérvese que debido a los patrones de cobertura de elemento de antena, algunas de las L rutas pueden tener menos energía que otras rutas.

La Fig. 10 ilustra un enlace 501 directo de extremo a extremo ilustrativo que acopla una pluralidad de nodos de acceso en localizaciones distribuidas geográficamente con un terminal 517 de usuario en un haz de usuario (*p. ej.*, situado en una localización de recuperación dentro de un área 519 de cobertura de haz de usuario) a través de un retransmisor 503 de extremo a extremo. En algunos casos, la señal de datos directos se recibe en un formador de haces antes de generar señales de enlace ascendente directo. Se generan una pluralidad de señales de enlace ascendente directo en el formador de haces y se comunican a la pluralidad de AN 515. Por ejemplo, cada AN 515 recibe una señal de enlace ascendente directo (con ponderación de haz) única generada según las ponderaciones de haz correspondientes a ese AN 515. Cada AN 515 tiene una salida que transmite una señal de enlace ascendente directo a través de uno de M enlaces ascendentes. Cada señal de enlace ascendente directo comprende una señal de datos directos asociada con el haz de usuario directo. La señal de datos directos está “asociada con” el haz de usuario directo, dado que pretende recibirse por los terminales 517 de usuario servidos por el haz de usuario. En algunos casos, la señal de datos directos comprende dos o más flujos de datos de usuario. Los flujos de datos de usuario pueden multiplexarse juntos mediante multiplexación por división de tiempos o división de frecuencia, etc. En algunos casos, cada flujo de datos de usuario es para su transmisión a uno o más de una pluralidad de terminales de usuario dentro del mismo haz de usuario directo.

Como se explica con mayor detalle a continuación, cada señal de enlace ascendente directo se transmite de forma sincronizada en tiempo por su AN 515 de transmisión respectivo. Las señales 521 de enlace ascendente directo transmitidas desde los AN 515 se reciben por una pluralidad de transpondedores 410 en el retransmisor 503 de extremo a extremo a través de los elementos 406 de antena de recepción en el retransmisor 503 de extremo a extremo. La superposición 550 de las señales 521 de enlace ascendente directo recibidas desde localizaciones geográficamente distribuidas crea una señal 545 directa de entrada compuesta. Cada transpondedor 410 recibe simultáneamente una señal 545 directa de entrada compuesta. Sin embargo, cada transpondedor 410 recibirá las señales con una temporización ligeramente diferente debido a las diferencias en la localización del elemento 406 de antena de recepción asociado con cada transpondedor 401.

Cr es la matriz de radiación de enlace ascendente directo $L \times M$. Los valores de la matriz de radiación de enlace ascendente directo modelizan la ruta de señal (amplitud y fase) desde los AN 515 hasta los elementos 406 de antena de recepción. **E** es la matriz de carga útil $L \times L$ y proporciona el modelo de las rutas de señal de transpondedor desde los elementos 406 de antena de recepción hasta los elementos 409 de antena de transmisión. La ganancia de ruta directa desde cada elemento 406 de antena de recepción a través de uno de una pluralidad de transpondedores correspondientes

hasta cada elemento 409 de antena de transmisión correspondiente es modelizado por los valores diagonales de la matriz de carga útil. Como se ha indicado anteriormente con respecto al enlace de retorno, suponiendo que no hay diafonía entre los elementos de antena, los elementos fuera de la diagonal de la matriz de carga útil son cero. En algunos casos, la diafonía puede no ser cero. Aislar las rutas de señal entre sí minimizará la diafonía. En este ejemplo, cada uno de los transpondedores 410 acopla uno de los elementos 406 de antena de recepción respectivos con uno de los elementos 409 de antena de transmisión respectivos. Por lo tanto, cada uno de la pluralidad de los transpondedores 410 transmite una señal 522 de enlace descendente directo emitida desde cada uno de los transpondedores 410 (véase la Fig. 9) a través de los elementos 409 de antena de transmisión, de modo que las señales 522 de enlace descendente directo forman un haz de usuario directo (superponiendo de forma constructiva y destructiva las localizaciones de recuperación geográfica deseadas para formar el haz). En algunos casos, se forma una pluralidad de haces de usuario, correspondiendo cada uno a un área geográfica 519 de cobertura de haz de usuario que da servicio a un respectivo conjunto de terminales 517 de usuario dentro del área 519 de cobertura de haz de usuario. La ruta desde el primer elemento 409a de antena de transmisión (véase la Fig. 10) a una localización de referencia (o recuperación) en la primera área 519 de cobertura de haz de usuario se proporciona en el valor At_{11} de la matriz de radiación de enlace descendente directo. Como se observa con respecto al enlace de retorno, este sistema de formación de haces de extremo a extremo induce intencionadamente un entorno de ruta múltiple para la ruta de extremo a extremo desde cualquier AN 515 hasta cualquier terminal 517 de usuario. En algunos casos, un subconjunto de los elementos 409 de antena de transmisión transmite señales 522 de enlace descendente directo con energía significativa a un terminal 517 de usuario. El terminal 517 de usuario (o, más generalmente, una localización de referencia o recuperación en el área 519 de cobertura de haz de usuario para recibir y/o recuperación) recibe la pluralidad de señales 522 de enlace descendente directo y recupera al menos una parte de la señal de datos directos de la pluralidad recibida de señales 522 de enlace descendente directo. Las señales 522 de enlace descendente directo transmitidas pueden ser recinidas por el terminal 517 de usuario a un nivel de señal que está dentro de 10 dB de un nivel de señal máximo de cualquiera de las otras señales transmitidas por los elementos 409 de antena de transmisión dentro del subconjunto. En algunos casos, el subconjunto de elementos de antena de transmisión incluye al menos el 10 % de la pluralidad de elementos de antena de transmisión presentes en el retransmisor 503 de extremo a extremo. En algunos casos, el subconjunto de elementos de antena de transmisión incluye al menos 10 elementos de antena de transmisión, independientemente de cuántos elementos 409 de antena de transmisión estén presentes en el retransmisor 503 de extremo a extremo. En un caso, recibir la pluralidad de señales de enlace descendente directo comprende recibir una superposición 551 de la pluralidad de señales de enlace descendente directo.

La Fig. 11 es una ilustración simplificada de un modelo de todos los canales 2208 de ruta múltiple directos de extremo a extremo desde los M AN 515 hasta las K áreas 519 de cobertura de haz de usuario. Como se muestra en la Fig. 11, existe un canal 2208 de ruta múltiple directo de extremo a extremo que acopla cada AN 515 a cada área 519 de cobertura de haz de usuario. Cada canal 2208 desde un AN 515 hasta un área 519 de cobertura de haz de usuario tiene ruta múltiple inducida como un resultado de L rutas únicas desde el AN 515 a través de la pluralidad de transpondedores hasta el área 519 de cobertura de haz de usuario. Como tales, los $K \times M$ canales 2208 de ruta múltiple pueden modelizarse individualmente y el modelo de cada uno sirve como un elemento de una matriz de canal directo $K \times M$ H_{fwd} . La matriz de canal directo H_{fwd} tiene M vectores, teniendo cada uno una dimensionalidad igual K , de modo que cada vector modeliza las ganancias directas de extremo a extremo para comunicaciones de ruta múltiple entre uno respectivo de los M AN 515 y localizaciones de referencia (o recuperación) en K áreas de cobertura de haz de usuario directo. Cada canal de ruta múltiple directo de extremo a extremo acopla uno de los M AN 515 con los terminales 517 de usuario servidos por uno de los K haces de usuario directos a través de L transpondedores 410 (véase la Fig. 10). En algunos casos, se utiliza solo un subconjunto de los L transpondedores 410 en el retransmisor 503 de extremo a extremo para crear el canal de ruta múltiple directo de extremo a extremo (es decir, están en la ruta de señal del canal de ruta múltiple directo de extremo a extremo). En algunos casos, el número de haces de usuario K es mayor que el número de transpondedores L que están en la ruta de señal del canal de ruta múltiple directo de extremo a extremo. Además, en algunos casos, el número M de AN es mayor que el número L de transpondedores que están en la ruta de señal del canal de ruta múltiple directo de extremo a extremo.

H_{fwd} puede representar el enlace directo de extremo a extremo como el producto de matrices $At \times E \times Cr$. Cada elemento en H_{fwd} es la ganancia directa de extremo a extremo debido a la naturaleza de ruta múltiple de la ruta y puede someterse a un desvanecimiento profundo. Puede calcularse una ponderación de haz adecuada para cada uno de la pluralidad de canales 2208 de ruta múltiple directos de extremo a extremo por el CPS 505 dentro del segmento 502 terrestre para formar haces de usuario directos desde el conjunto de M AN 515 hasta cada área 519 de cobertura de haz de usuario. La pluralidad de AN 515 proporciona diversidad de ruta de transmisión, utilizando múltiples transmisores (AN) a un solo receptor (terminal de usuario), para permitir la transmisión satisfactoria de información a cualquier terminal 517 de usuario en presencia del canal de ruta múltiple inducido intencionadamente.

Datos directos y de retorno combinados

La Fig. 12 ilustra un retransmisor de extremo a extremo ilustrativo que soporta tanto comunicaciones directas como de retorno. En algunos casos, pueden utilizarse las mismas rutas de señal de retransmisor de extremo a extremo (p. ej., conjunto de elementos de antena de recepción, transpondedores y elementos de antena de transmisión) tanto para el enlace 501 directo de extremo a extremo como para el enlace 523 de retorno de extremo a extremo. Algunos otros casos incluyen transpondedores de enlace directo y transpondedores de enlace de retorno, que pueden o no compartir

elementos de antena de recepción y transmisión. En algunos casos, el sistema 1200 tiene una pluralidad de AN y terminales de usuario que están situados en la misma región 1208 geográfica general (que puede ser, por ejemplo, un estado particular, un país entero, una región, una zona visible entera o cualquier otra región 1208 geográfica adecuada). Un único retransmisor 1202 de extremo a extremo (dispuesto en un satélite o cualquier otro retransmisor de extremo a extremo adecuado) recibe señales 521 de enlace ascendente directo desde los AN y transmite las señales 522 de enlace descendente directo a terminales de usuario. En tiempos alternativos, o en frecuencias alternativas, el retransmisor 1202 de extremo a extremo también recibe señales 525 de enlace ascendente de retorno desde los terminales de usuario y transmite señales 527 de enlace descendente de retorno a los AN. En algunos casos, el retransmisor 1202 de extremo a extremo se comparte entre datos directos y de retorno utilizando técnicas tales como duplexación de dominio de tiempo, duplexación de dominio de frecuencia y similares. En algunos casos, la duplexación de dominio de tiempo entre los datos directo y de retorno utiliza el mismo intervalo de frecuencias: los datos directos se transmiten durante distintos intervalos de tiempo (no superpuestos) que los utilizados para transmitir datos de retorno. En algunos casos, con duplexación de dominio de frecuencia, se utilizan distintas frecuencias para datos directos y datos de retorno, permitiendo de este modo la transmisión concurrente y no interferente de datos directos y de retorno.

La Fig. 13 es una ilustración de un intervalo de frecuencias de enlace ascendente que se divide en dos partes. La parte de menor frecuencia (izquierda) del intervalo se asigna al enlace ascendente directo y la parte de mayor frecuencia (derecha) del intervalo se asigna al enlace ascendente de retorno. El intervalo de enlace ascendente puede dividirse en múltiples partes de datos directos o bien de retorno.

La Fig. 14 es una ilustración de los datos directos y los datos de retorno que se multiplexan por división de tiempo. Se muestra un período de trama de datos en el que se transportan datos directos durante el primer intervalo de tiempo de la trama, mientras que los datos de retorno se transportan durante el último intervalo de tiempo de la trama. El retransmisor de extremo a extremo recibe desde uno o más nodos de acceso durante un primer intervalo de tiempo de recepción (directo) y desde uno o más terminales de usuario durante un segundo intervalo de tiempo de recepción (de retorno) que no solapa con el primer intervalo de tiempo de recepción. El retransmisor de extremo a extremo transmite a uno o más terminales de usuario durante un primer intervalo de tiempo de transmisión (directo) y a uno o más nodos de acceso durante un segundo intervalo de tiempo de transmisión (de retorno) que no solapa con el primer intervalo de tiempo de recepción. La trama de datos puede repetirse o puede cambiar dinámicamente. La trama puede dividirse en múltiples partes (*p. ej.*, no contiguas) para datos directos y de retorno.

Satélites de formación de haces de extremo a extremo

En algunos casos, el retransmisor 503 de extremo a extremo se implementa en un satélite, de modo que el satélite se utiliza para retransmitir las señales desde los AN [que pueden denominarse satellite access nodes (nodos de acceso de satélite - SAN) en tales casos] a los terminales de usuario y viceversa. En algunos casos, el satélite está en una órbita geoestacionaria. Un satélite ilustrativo que funciona como un retransmisor de extremo a extremo tiene un conjunto de elementos de antena de recepción, un conjunto de elementos de antena de transmisión y un número de transpondedores que conectan los elementos de antena de recepción a los elementos de antena de transmisión. Los conjuntos tienen un gran número de elementos de antena con áreas de cobertura de elementos de antena superpuestos, similares a los conjuntos de antenas en fase de enlace único tradicionales. Son las áreas de cobertura de elemento de antena solapantes, tanto en elementos de antena de transmisión como en elementos de antena de recepción, las que crean el entorno de ruta múltiple descrito anteriormente. En algunos casos, los patrones de antena establecidos por los elementos de antena correspondientes, y aquellos que dan lugar a áreas de cobertura de elemento de antena solapantes (*p. ej.*, patrones de antena de haz de componente solapantes), son idénticos. Para los propósitos de esta descripción, el término "idéntico" significa que siguen esencialmente la misma distribución de potencia sobre un conjunto dado de puntos en el espacio, tomando el elemento de antena como punto de referencia para situar los puntos en el espacio. Es muy difícil ser perfectamente idéntico. Por lo tanto, los patrones que tienen desviaciones relativamente pequeñas de un patrón a otro están dentro del ámbito de patrones "idénticos". En otros casos, los patrones de antena de haz de componente de recepción pueden no ser idénticos y, de hecho, pueden ser significativamente distintos. Tales patrones de antena aún pueden dar lugar a áreas de cobertura de elementos de antena solapantes; sin embargo, esas áreas de cobertura resultantes no serán idénticas.

Los tipos de antena incluyen, aunque no de forma limitativa, reflectores alimentados por conjunto, conjuntos confocales, conjuntos de radiación directa y otras formas de conjuntos de antenas. Cada antena puede ser un sistema que incluye componentes ópticos adicionales para ayudar en la recepción y/o transmisión de señales, tales como uno o más reflectores. En algunos casos, un satélite incluye componentes que ayudan a la alineación de temporización del sistema y a la calibración de formación de haces.

La Fig. 15 es un diagrama de un satélite 1502 ilustrativo que puede utilizarse como un retransmisor 503 de extremo a extremo. En algunos casos, el satélite 1502 tiene una antena 401 de transmisión de reflector alimentada por conjunto y una antena 402 de recepción de reflector alimentada por conjunto. La antena 402 de recepción comprende un reflector de recepción (no mostrado) y un conjunto de elementos 406 de antena de recepción. Los elementos 406 de antena de recepción son iluminados por el reflector de recepción. La antena 401 de transmisión

comprende un reflector de transmisión (no mostrado) y un conjunto de elementos 409 de antena de transmisión. Los elementos 409 de antena de transmisión están dispuestos para iluminar el reflector de transmisión. En algunos casos, se utiliza el mismo reflector tanto para recibir como para transmitir. En algunos casos, se utiliza un puerto del elemento de antena para la recepción y otro puerto para la transmisión. Algunas antenas tienen la capacidad de distinguir entre señales de distintas polarizaciones. Por ejemplo, un elemento de antena puede incluir cuatro puertos de guía de ondas para recepción de right-hand circular polarization (polarización circular hacia la derecha - RHCP), recepción de left-hand circular polarization (polarización circular hacia la izquierda - LHCP), transmisión de RHCP y transmisión de LHCP, respectivamente. En algunos casos, pueden utilizarse polarizaciones dobles para aumentar la capacidad del sistema; en otros casos, puede utilizarse una única polarización para reducir la interferencia (*p. ej.*, con otros sistemas que utilizan una polarización distinta).

El satélite 1502 ilustrativo comprende también una pluralidad de transpondedores 410. Un transpondedor 410 conecta la salida desde un elemento 406 de antena de recepción hasta la entrada de un elemento 409 de antena de transmisión. En algunos casos, el transpondedor 410 amplifica la señal recibida. Cada elemento de antena de recepción emite una señal recibida única. En algunos casos, un subconjunto de elementos 406 de antena de recepción recibe una señal desde un transmisor terrestre, tal como un terminal 517 de usuario en el caso de una señal de enlace de retorno o un AN 515 en el caso de una señal de enlace directo. En algunos de estos casos, la ganancia de cada elemento de antena de recepción en el subconjunto para la señal recibida está dentro de un intervalo relativamente pequeño. En algunos casos, el intervalo es 3 dB. En otros casos, el intervalo es de 6 dB. En otros casos más, el intervalo es de 10 dB. Por lo tanto, el satélite recibirá una señal en cada uno de una pluralidad de elementos 406 de antena de recepción del satélite, originándose la señal de comunicación desde un transmisor terrestre, de modo que un subconjunto de los elementos 406 de antena de recepción recibe la señal de comunicación a un nivel de señal que no es sustancialmente menor que un nivel de señal que corresponde a una ganancia máximo del elemento 406 de antena de recepción.

En algunos casos, se proporcionan al menos 10 transpondedores 410 dentro del satélite 1502. En otro caso, se proporcionan al menos 100 transpondedores 410 en el satélite 1502. En otro caso más, el número de transpondedores por polaridad puede estar en el intervalo de 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512, 1024 o números intermedios o mayores. En algunos casos, el transpondedor 410 incluye un low noise amplifier (amplificador 412 de bajo ruido - LNA), un convertidor 414 de frecuencia y filtros asociados y un power amplifier (amplificador 420 de potencia - PA). En algunos casos en los que la frecuencia de enlace ascendente y la frecuencia de enlace descendente son iguales, el transpondedor no incluye un convertidor de frecuencia. En otros casos, la pluralidad de elementos de antena de recepción funcionan en una primera frecuencia. Cada elemento 406 de antena de recepción está asociado a un transpondedor 410. El elemento 406 de antena de recepción se acopla a la entrada del LNA 412. Por lo tanto, el LNA amplifica independientemente la señal recibida única proporcionada por el elemento de antena de recepción asociado con el transpondedor 410. En algunos casos, la salida del LNA 412 se acopla al convertidor 414 de frecuencia. El convertidor 414 de frecuencia convierte la señal amplificada a una segunda frecuencia.

La salida del transpondedor se acopla a uno de los elementos de antena de transmisión asociados. En estos ejemplos, existe una relación de uno a uno entre un transpondedor 410, un elemento 406 de antena de recepción asociado y un elemento 409 de antena de transmisión asociado, de modo que la salida de cada elemento 406 de antena de recepción está conectada a la entrada de uno y solo un transpondedor, y la salida de ese transpondedor está conectada a la entrada de uno y solo un elemento de antena de transmisión.

La Fig. 16 es una ilustración de un transpondedor 410 ilustrativo. El transpondedor 410 puede ser un ejemplo de un transpondedor de un retransmisor 503 de extremo a extremo, como se ha descrito anteriormente (*p. ej.*, el satélite 1502 de la Fig. 15). En este ejemplo, el transpondedor incluye un desplazador 418 de fase además del LNA 412, un convertidor 414 de frecuencia y filtros asociados y un power amplifier (amplificador de potencia - PA) del transpondedor 410. Como se ilustra en la Fig. 16, el transpondedor 410 ilustrativo también puede acoplarse con un controlador 427 de desplazamiento de fase. Por ejemplo, el controlador 427 de desplazamiento de fase puede acoplarse (directa o indirectamente) con cada uno de algunos o todos los transpondedores de un retransmisor 503 de extremo a extremo, de modo que el controlador 427 de desplazamiento de fase puede establecer individualmente las fases para cada transpondedor. Los desplazadores de fase pueden ser útiles para la calibración, por ejemplo, como se explica a continuación.

Antenas

Para crear el entorno de ruta múltiple, las áreas de cobertura de elemento de antena pueden solaparse con áreas de cobertura de elemento de antena de al menos otro elemento de antena de la misma polaridad, frecuencia y tipo (transmisión o recepción, respectivamente). En algunos casos, una pluralidad de patrones de antena de haz de componente de recepción, que funcionan en la misma polarización de recepción y frecuencia de recepción (*p. ej.*, que tienen al menos una parte de la frecuencia de recepción en común), solapan entre sí. Por ejemplo, en algunos casos, al menos el 25 % de los patrones de antena de haz de componente de recepción, operables en la misma polarización de recepción y frecuencia de recepción (*p. ej.*, que tienen al menos una parte de la frecuencia de recepción en común), solapan con al menos cinco otros patrones de antena de haz de componente de

recepción de los elementos de antena de recepción. De forma similar, en algunos casos, al menos el 25 % de los patrones de antena de haz de componente de transmisión, que funcionan en la misma polarización de transmisión y frecuencia de transmisión (*p. ej.*, que tienen al menos una parte de la frecuencia de transmisión en común), solapan con al menos cinco patrones de antena de haz de componente de transmisión. La cantidad de solapamiento variará de un sistema a otro. En algunos casos, al menos uno de los elementos 406 de antena de recepción tiene patrones de antena de haz de componente que solapan con los patrones de antena de otros elementos 406 de antena de recepción que funcionan en la misma frecuencia de recepción (*p. ej.*, que tienen al menos una parte de la frecuencia de recepción en común) y en la misma polarización de recepción. Por lo tanto, al menos algunos de la pluralidad de elementos de antena de recepción son capaces de recibir las mismas señales desde la misma fuente. De forma similar, al menos uno de los elementos 409 de antena de transmisión tiene un patrón de antena de haz de componentes que solapa con los patrones de antena de otros elementos 409 de antena de transmisión que funcionan en la misma frecuencia de transmisión (*p. ej.*, que tienen al menos una parte de la frecuencia de transmisión en común) y la polarización de transmisión. Por lo tanto, al menos algunos de la pluralidad de elementos de antena de transmisión son capaces de transmitir señales que tienen la misma frecuencia en la misma polarización al mismo receptor. En algunos casos, los patrones de antena de haz de componente que se superponen pueden tener ganancias que difieren en menos de 3 dB (o cualquier otro valor adecuado) en un área geográfica común. Los elementos de antena, ya sean de recepción o de transmisión, pueden tener un patrón de antena de haz de componente amplio y, por lo tanto, un área de cobertura de elementos de antena relativamente amplia. En algunos casos, las señales transmitidas por un transmisor terrestre, tal como un terminal 517 de usuario o un nodo 515 de acceso, son recibidas por todos los elementos 406 de antena de recepción del retransmisor de extremo a extremo (*p. ej.*, satélite). En algunos casos, un subconjunto de los elementos 406 recibe las señales de un transmisor terrestre. En algunos casos, el subconjunto incluye al menos el 50 % de los elementos de antena de recepción. En otros casos, el subconjunto incluye al menos el 75 % de los elementos de antena de recepción. En otros casos adicionales, el subconjunto incluye al menos el 90 % (*p. ej.*, hasta e incluyendo todos) los elementos de antena de recepción. Distintos subconjuntos de los elementos 406 de antena de recepción pueden recibir señales desde distintos transmisores terrestres. De forma similar, en algunos casos, un subconjunto de los elementos 409 transmite señales que pueden ser recibidos por un terminal 517 de usuario. En algunos casos, el subconjunto incluye al menos el 50 % de los elementos de antena de transmisión. En otros casos, el subconjunto incluye al menos el 75 % de los elementos de antena de transmisión. En otros casos adicionales, el subconjunto incluye al menos el 90 % (*p. ej.*, hasta e incluyendo todos) los elementos de antena de transmisión. Distintos subconjuntos de los elementos 409 pueden transmitir señales que son recibidas por distintos terminales de usuario. Además, los terminales de usuario pueden estar dentro de varias áreas 519 de cobertura de haz de usuario formadas. Para el propósito de esta descripción, un patrón de antena es un patrón de distribución de energía transmitida a, o recibida desde, una antena. En algunos casos, la energía puede irradiarse directamente del/al elemento de antena. En otros casos, la energía procedente de uno o más elementos de antena de transmisión puede ser reflejada por uno o más reflectores que conforman el patrón de elemento de antena. De forma similar, un elemento de recepción puede recibir energía directamente, o después de que la energía haya sido reflejada por uno o más reflectores. En algunos casos, las antenas pueden constar de varios elementos, teniendo cada uno un patrón de antena de haz de componente que establece una área de cobertura de elemento de antena correspondiente. De forma similar, pueden solapar todos o un subconjunto de elementos de antena de recepción y transmisión que reciben y transmiten señales a los AN 515, de modo que una pluralidad de elementos de antena de recepción reciba señales desde el mismo AN 515 y/o una pluralidad de elementos de antena de transmisión transmitan señales al mismo AN 515.

La Fig. 17 es una ilustración de patrones de antena de haz de componente producidos por varios elementos de antena (ya sean elementos 406 de antena de recepción o elementos 409 de antena de transmisión) que se intersecan en los puntos de 3 dB. El patrón 1301 de antena de haz de componente de un primer elemento de antena tiene ganancia máxima de antena de haz de componente a lo largo del eje 1303 de puntería. Se ha demostrado que el patrón 1301 de antena de haz de componente atenúa aproximadamente 3 dB antes de que interseque con el patrón 1305 de antena de haz de componente. Dado que cada par de dos patrones de antena de haz de componente adyacente solapan alrededor de la línea 1307 de 3 dB únicamente para una parte relativamente pequeña del patrón de antena de haz de componente, se considera que los elementos de antena que producen estos patrones de antena de haz de componente no solapan.

La Fig. 18 muestra los contornos 3901, 3902, 3903 de la antena de 3 dB idealizados de varios elementos 406, 409 con la ganancia máxima designada con la letra 'x'. Los contornos 3901, 3902, 3903 se denominan en la presente memoria "idealizados" porque los contornos se muestran como circulares para mayor simplicidad. Sin embargo, los contornos 3901, 3902, 3903 no tienen por qué ser circulares. Cada contorno indica el lugar en el que la señal transmitida o recibida está 3 dB por debajo del nivel máximo. Fuera del contorno, la señal está más de 3 dB por debajo del máximo. Dentro del contorno, la señal está menos de 3 dB por debajo del máximo (es decir, dentro de 3 dB del máximo). En un sistema en el que el área de cobertura de un patrón de antena de haz de componente de recepción es todos los puntos para los cuales la ganancia de antena de haz de componente de recepción está dentro de 3 dB de la ganancia máxima de antena de haz de componente de recepción, el área dentro del contorno se denomina área de cobertura de elemento de antena. El contorno de la antena de 3 dB para cada elemento 406, 409 no solapa. Es decir, solo una parte relativamente pequeña del

área dentro del contorno 3901 de antena de 3 dB solapa con el área que está dentro de los patrones 3902, 3903 de antena de 3 dB adyacentes.

La Fig. 19 es una ilustración de los patrones 1411, 1413, 1415 de antena de varios elementos de antena (ya sean elementos 406 de antena de recepción o elementos 409 de antena de transmisión). En contraste con los patrones de antena de haz de componente de la Fig. 17, los patrones de antena de haz de componente mostrados en la Fig. 19 se intersecan 1417 por encima de la línea 1307 de 3 dB.

La Fig. 20A a la Fig. 20E ilustran contornos de antena de 3 dB para varios elementos 406, 409 de antena con el punto central de haz (ganancia máxima) designado con la letra 'x'. La Fig. 20A muestra el contorno 1411 de antena particular de un primer elemento 406 de antena. La Fig. 20B muestra los contornos 1411, 1413 de la antena de 3 dB para dos elementos 406 particulares. La Fig. 20C muestra los contornos de antena de 3 dB para tres elementos 406. La Fig. 20D muestra los contornos de antena de 3 dB para cuatro elementos 406 de antena. La Fig. 20E muestra los contornos de antena de 3 dB para un conjunto de 16 elementos 406 de antena. Se muestra que los contornos de antena de 3 dB solapan 1418 (*p. ej.*, se muestran 16 de tales contornos de antena de 3 dB). Los elementos de antena en la antena de recepción o transmisión pueden disponerse en cualquiera de varias configuraciones distintas. Por ejemplo, si los elementos tienen una bocina de alimentación generalmente circular, los elementos pueden disponerse en una configuración de panel para empaquetar estrechamente los elementos en una pequeña cantidad de espacio. En algunos casos, los elementos de antena se alinean en filas horizontales y columnas verticales.

La Fig. 21 es una ilustración ilustrativa de las posiciones relativas de los contornos de antena de 3 dB de antena de recepción asociados con los elementos 406 de antena de recepción. Los centros de haz del elemento 406 están numerados de 1 - 16, con el elemento 406₄ identificado por el número '4' a la izquierda superior del indicador central de haz 'x'. En algunos casos, puede haber muchos más de 16 elementos 406 de antena de recepción. Sin embargo, para mayor simplicidad, en la Fig. 21 se muestran solo 16. Un conjunto correspondiente de elementos 409 de antena de transmisión y sus contornos asociados de antena de 3 dB parecerá similar al de la Fig. 21. Por lo tanto, para mayor simplicidad, solo se muestra el conjunto de elementos 406 de antena de recepción. El área 2101 en el centro es donde solapan todas las áreas de cobertura de elemento de antena.

En algunos casos, al menos un punto dentro del área de cobertura de retransmisor (*p. ej.*, área de cobertura de satélite) cae dentro del contorno de antena de 3 dB de los haces componentes de varios elementos 406 de antena. En tal caso, al menos un punto está dentro del contorno de la antena de 3 dB de al menos 100 elementos 406 de antena distintos. En otro caso, al menos un 10 % del área de cobertura de retransmisor se encuentra dentro de los contornos de antena de 3 dB de al menos 30 elementos de antena distintos. En otro caso, al menos un 20 % del área de cobertura de retransmisor se encuentra dentro de los contornos de antena de 3 dB de al menos 20 elementos de antena distintos. En otro caso, al menos un 30 % del área de cobertura de retransmisor se encuentra dentro de los contornos de antena de 3 dB de al menos 10 elementos de antena distintos. En otro caso, al menos un 40 % del área de cobertura de retransmisor se encuentra dentro de los contornos de antena de 3 dB de al menos ocho elementos de antena distintos. En otro caso, al menos un 50 % del área de cobertura de retransmisor se encuentra dentro de los contornos de antena de 3 dB de al menos cuatro elementos de antena distintos. Sin embargo, en algunos casos, más de una de estas relaciones puede cumplirse.

En algunos casos, el retransmisor de extremo a extremo tiene un área de cobertura de retransmisor (*p. ej.*, un área de cobertura de satélite) en la que al menos un 25 % de los puntos en el área de cobertura de retransmisor de enlace ascendente están dentro (*es decir*, abarcan) de las áreas de cobertura solapantes de al menos seis elementos 406 de antena de recepción. En algunos casos, un 25 % de los puntos dentro del área de cobertura del retransmisor de enlace ascendente están dentro (*es decir*, abarcan) de las áreas de cobertura solapantes de al menos cuatro elementos 406 de antena de recepción. En algunos casos, el retransmisor de extremo a extremo tiene un área de cobertura en la que al menos un 25 % de los puntos en el área de cobertura de retransmisor de enlace descendente están dentro (*es decir*, abarcan) de las áreas de cobertura solapantes de al menos seis elementos 409 de antena de transmisión. En algunos casos, un 25 % de los puntos dentro del área de cobertura del retransmisor de enlace descendente están dentro (*es decir*, abarcan) de las áreas de cobertura solapantes de al menos cuatro elementos 409 de antena de transmisión.

En algunos casos, la antena 402 de recepción puede apuntarse aproximadamente en la misma área de cobertura que la antena 401 de transmisión, de modo que algunas áreas de cobertura de elementos de antena de recepción pueden corresponder naturalmente a áreas de cobertura de elementos de antena de transmisión particulares. En estos casos, los elementos 406 de antena de recepción pueden correlacionarse con sus correspondientes elementos 409 de antena de transmisión a través de los transpondedores 410, produciendo áreas de cobertura de elementos de antena de transmisión y recepción similares para cada ruta de señal de recepción/transmisión. En algunos casos, sin embargo, puede ser ventajoso correlacionar los elementos 406 de antena de recepción con los elementos 409 de antena de transmisión que corresponden a la misma área de cobertura de haz de componentes. Por lo tanto, el mapeo de los elementos 406 de la antena 402 de recepción con los elementos 409 de la antena 401 de transmisión puede permutarse aleatoriamente (o de otro modo). Dicha permutación incluye el caso que lugar a que los elementos 406 de antena de recepción no se mapeen en los elementos 409 de antena de transmisión en la misma localización relativa dentro del conjunto o que tengan la misma área de cobertura. Por ejemplo, cada elemento 406 de antena de recepción

dentro del conjunto de elementos de antena de recepción puede asociarse al mismo transpondedor 410 que el elemento 409 de antena de transmisión situado en la localización espejo del conjunto de elementos de antena de transmisión. Puede utilizarse cualquier otra permutación para correlacionar los elementos 406 de antena de recepción con los elementos 409 de antena de transmisión según una permutación (*p. ej.*, emparejar cada elemento 406 de antena de recepción con el mismo transpondedor al que se acopla un elemento 409 de antena de transmisión asociado según una permutación particular del elemento 406 de antena de recepción y el elemento 409 de antena de transmisión).

La Fig. 22 es una tabla 4200 que muestra correlaciones ilustrativas de elementos 406 de antena de recepción con elementos 409 de antena de transmisión a través de 16 transpondedores 410. Cada transpondedor 410 tiene una entrada que se acopla exclusivamente a un elemento 406 de antena de recepción asociado y a una salida que se acopla exclusivamente a un elemento 409 de antena de transmisión asociado (*p. ej.*, existe una relación de uno a uno entre cada elemento 406 de antena de recepción, un transpondedor 410 y un elemento 409 de antena de transmisión). En algunos casos, pueden estar presentes otros elementos de antena de recepción, los transpondedores y los elementos de antena de transmisión en el retransmisor de extremo a extremo (*p. ej.*, satélite) que no estén configurados en una relación de uno a uno (y que no funcionen como una parte del sistema de formación de haces de extremo a extremo).

La primera columna 4202 de la tabla 4200 identifica un transpondedor 410. La segunda columna 4204 identifica un elemento 406 de antena de recepción al que se acopla el transpondedor 410 de la primera columna. La tercera columna 4206 de la tabla 4200 identifica un elemento 409 de antena de transmisión asociado al que se acopla la salida del transpondedor 410. Cada elemento 406 de antena de recepción se acopla a la entrada del transpondedor 410 identificado en la misma fila de la tabla 4200. De forma similar, cada elemento 409 de antena de transmisión se acopla a la salida del transpondedor 410 identificado en la misma fila de la tabla 4200. La tercera columna de la tabla 4200 muestra un ejemplo de correlación directa en el que cada elemento 406 de antena de recepción del conjunto de antenas de recepción se acopla al mismo transpondedor 410 que un elemento 409 de antena de transmisión en la misma localización relativa dentro del conjunto de antenas de transmisión. La cuarta columna 4208 de la tabla 4200 muestra un ejemplo de correlación intercalada en el que el primer elemento 406 de antena de recepción se acopla al primer transpondedor 410 y al décimo elemento 409 de antena de transmisión. El segundo elemento 406 de antena de recepción se acopla al segundo transpondedor 410 y al noveno elemento 409 de antena de transmisión, y así sucesivamente. Algunos casos tienen otras permutaciones, incluyendo una correlación aleatoria en la que se selecciona aleatoriamente el emparejamiento particular del elemento 406 de antena de recepción y del elemento de transmisión 409 con un transpondedor 410.

La correlación directa, que intenta mantener las áreas de cobertura de elemento de antena de transmisión y recepción lo más similares posibles para cada ruta de señal de recepción/transmisión, produce de forma general la mayor capacidad total del sistema. Las permutaciones aleatorias e intercaladas producen, de forma general, una capacidad ligeramente menor, pero proporcionan un sistema más robusto frente a interrupciones de AN, interrupciones de fibras en la red terrestre o pérdida de rutas de señal de recepción/transmisión debido a un fallo electrónico en el retransmisor de extremo a extremo (*p. ej.*, en uno o más transpondedores). Unas permutaciones aleatorias intercaladas permiten que se utilicen AN no redundantes de menor coste. Unas permutaciones aleatorias intercaladas también proporcionan menos variación entre la capacidad en el haz con mejor rendimiento y la capacidad en el haz con peor rendimiento. Las permutaciones aleatorias intercaladas también pueden ser más útiles para hacer funcionar inicialmente el sistema con solo una fracción de los AN, dando lugar a solo una fracción de la capacidad total disponible, pero sin pérdida en el área de cobertura. Un ejemplo de esto es un despliegue incremental de AN, donde el sistema se hizo funcionar inicialmente con solo un 50 % de los AN desplegados. Esto puede proporcionar menos que toda la capacidad, mientras que aún permite el funcionamiento en toda el área de cobertura. A medida que aumenta la demanda, pueden desplegarse más AN para aumentar la capacidad hasta que se consiga la capacidad total con todos los AN activos. En algunos casos, un cambio en la composición de los AN da lugar a calcular de nuevo las ponderaciones de haz. Un cambio en la composición puede incluir cambiar el número o las características de uno o más AN. Esto puede requerir una reestimación de las ganancias directas y/o de retorno de extremo a extremo.

En algunos casos, la antena es una antena reflectora alimentada por conjunto con un reflector parabólico. En otros casos, el reflector no tiene una forma parabólica. Puede disponerse un conjunto de elementos 406 de antena de recepción para recibir señales reflejadas por el reflector. De forma similar, puede disponerse un conjunto de elementos 409 de antena de transmisión para formar un conjunto para iluminar el reflector. Una forma de proporcionar elementos con patrones de antena de haz de componente solapantes es tener los elementos 406, 409 desenfocados (no enfocados) como consecuencia del plano focal del reflector que está detrás (o delante) del conjunto de elementos 406, 409 (es decir, el conjunto de antenas de recepción que está situado fuera del plano focal del reflector de recepción).

La Fig. 23 es una ilustración de una sección transversal de un reflector 1521 parabólico de alimentación central. Un punto 1523 focal se encuentra en un plano focal 1525 que es normal al eje central 1527 del reflector 1521. Las señales recibidas que golpean el reflector 1521 paralelo al eje 1527 central se enfocan en el punto focal 1523. Del mismo modo, las señales que se transmiten desde un elemento de antena situado en el punto focal y que golpean el reflector 1521 se reflejarán en un haz enfocado desde el reflector 1521 paralelo al eje 1527 central. Dicha

disposición se utiliza a menudo en sistemas de alimentación única por haz para maximizar la directividad de cada haz y minimizar el solapamiento con haces formados por fuentes adyacentes.

La Fig. 24 es una ilustración de otro reflector parabólico 1621. Situando los elementos 1629 de antena (sean elementos de antena de recepción o elementos de antena de transmisión 406, 409, 3416, 3419, 3426, 3429) fuera del plano focal (*p. ej.*, delante del plano focal 1625 del reflector 1621), la ruta 1631 de señales transmitidas que golpean el reflector 1621 no será paralela entre sí ya que se reflejan del reflector 1621, dando lugar a una anchura de haz más amplia que en el caso enfocado. En algunos casos, se utilizan reflectores que tienen formas distintas de un paraboloide. Dichos reflectores también pueden dar lugar a desenfocar la antena. El sistema de formación de haces de extremo a extremo puede utilizar este tipo de antena desenfocada para crear solapamiento en el área de cobertura de elementos de antena adyacentes y, por lo tanto, proporcionar un gran número de rutas de recepción/transmisión útiles para localizaciones de haces dadas en el área de cobertura del retransmisor.

En un caso, se establece un área de cobertura de retransmisor, en la que el 25 % de los puntos dentro del área de cobertura de retransmisor están dentro de las áreas de cobertura de elemento de antena de al menos seis patrones de antena de haz de componente cuando se despliega el retransmisor de extremo a extremo (*p. ej.*, un retransmisor de satélite de extremo a extremo está en una órbita de servicio). De forma alternativa, el 25 % de los puntos dentro del área de cobertura del retransmisor están dentro de las áreas de cobertura de elemento de antena de al menos cuatro elementos de antena de recepción. La Fig. 25 es una ilustración de un área 3201 de cobertura de retransmisor ilustrativo (para un retransmisor de satélite de extremo a extremo, también denominada área de cobertura de satélite) (mostrada con sombreado cruzado simple) y el área 3203 (mostrada con sombreado cruzado doble) definida por los puntos dentro del área 3201 de cobertura de retransmisor que también se contienen dentro de seis áreas 3205, 3207, 3209, 3211, 3213, 3215 de cobertura de elementos de antena. El área 3201 de cobertura y las áreas 3205, 3207, 3209, 3211, 3213, 3215 de cobertura de elementos de antena pueden ser bien áreas de cobertura de elementos de antena de recepción o bien áreas de cobertura de elementos de antena de transmisión y pueden estar asociadas únicamente al enlace directo o únicamente al enlace de retorno. El tamaño de las áreas 3205, 3207, 3209, 3211, 3213, 3215 de cobertura de elemento de antena está determinado por el rendimiento deseado a proporcionar por el sistema. Un sistema que sea más tolerante a errores puede tener áreas de cobertura de elementos de antena que son más grandes que un sistema que sea menos tolerante. En algunos casos, cada área 3205, 3207, 3209, 3211, 3213, 3215 de cobertura de elemento de antena son todos los puntos para los cuales la ganancia de antena de haz de componente está dentro de los 10 dB de la ganancia máxima de antena de haz de componente para el elemento de antena que establece el patrón de antena de haz de componente. En otros casos, cada área 3205, 3207, 3209, 3211, 3213, 3215 de cobertura de elementos de antena son todos los puntos para los cuales la ganancia de antena de haz de componente está dentro de 6 dB de ganancia máxima de antena de haz de componente. En otros casos, cada área 3205, 3207, 3209, 3211, 3213, 3215 de cobertura de elemento de antena son todos los puntos para los que la ganancia de antena de haz de componente está dentro de 3 dB de la ganancia máxima de antena de haz de componente. Incluso cuando aún no se ha desplegado un retransmisor de extremo a extremo (*p. ej.*, un retransmisor de satélite de extremo a extremo no está en una órbita de servicio, el retransmisor de extremo a extremo aún tiene patrones de antena de haz de componente que se ajustan a la definición anterior. Es decir, las áreas de cobertura de elemento de antena correspondientes a un retransmisor de extremo a extremo en órbita pueden calcularse a partir de los patrones de antena de haz de componente incluso cuando el retransmisor de extremo a extremo no está en una órbita de servicio. El retransmisor de extremo a extremo puede incluir elementos de antena adicionales que no contribuyen a la formación de haces y, por lo tanto, pueden no tener las características mencionadas anteriormente.

La Fig. 26 es una ilustración de un patrón 3300 de antena de retransmisor de extremo a extremo (*p. ej.*, satélite), en el que todos los puntos dentro de un área 3301 de cobertura de retransmisor (*p. ej.*, área de cobertura de satélite) también están contenidos dentro de al menos cuatro áreas 3303, 3305, 3307, 3309 de cobertura de elementos de antena. Pueden existir otros elementos de antena en el retransmisor de extremo a extremo y pueden tener áreas 3311 de cobertura de elementos de antena que contengan menos que todos los puntos dentro del área 3301 de cobertura de retransmisor.

El sistema puede funcionar en cualquier espectro adecuado. Por ejemplo, un sistema de formación de haces de extremo a extremo puede funcionar en la banda o bandas C, L, S, X, V, Ka, Ku u otra banda o bandas adecuadas. En algunos de tales sistemas, el medio de recepción funciona en la banda o bandas C, L, S, X, V, Ka, Ku u otra banda o bandas adecuadas. En algunos casos, el enlace ascendente directo y el enlace ascendente de retorno pueden funcionar en el mismo intervalo de frecuencias (*p. ej.*, cerca de 30 GHz); y el enlace descendente de retorno y el enlace descendente directo pueden funcionar en un intervalo de frecuencias no solapante (*p. ej.*, cerca de 20 GHz). El sistema de extremo a extremo puede utilizar cualquier ancho de banda adecuado (*p. ej.*, 500 MHz, 1 GHz, 2 GHz, 3,5 GHz, *etc.*). En algunos casos, los enlaces directo y de retorno utilizan los mismos transpondedores.

Para ayudar en la alineación de la temporización del sistema, las longitudes de ruta entre los *L* transpondedores se establecen para igualar los retardos de tiempo de ruta de señal en algunos casos, por ejemplo, a través de una selección adecuada de longitudes de cable. El retransmisor de extremo a extremo (*p. ej.*, satélite) en algunos casos tiene un

generador 426 de baliza de retransmisor (*p. ej.*, baliza de satélite) dentro de un módulo 424 de soporte de calibración (véase la Fig. 15). El generador 426 de baliza genera una señal de baliza de retransmisor. El retransmisor de extremo a extremo difunde la señal de baliza de retransmisor para ayudar además en la alineación de temporización de sistema, así como en la calibración del enlace alimentador de soporte. En algunos casos, la señal de baliza de retransmisor es una secuencia pseudoaleatoria (conocida como PN), tal como una señal de espectro ensanchado de secuencia directa PN que se ejecuta a una alta tasa de chip (*p. ej.*, 100, 200, 400 u 800 millones de chips por segundo (Mcps) o cualquier otro valor adecuado). En algunos casos, se transmite una baliza de retransmisor (*p. ej.*, satélite) polarizada linealmente, que se puede recibir tanto por las antenas de RHCP como de LHCP, a través de un área de cobertura amplia mediante una antena, tal como una bocina de antena (no mostrada) o acoplada en uno o más de los transpondedores 410 para su transmisión a través del elemento 409 de antena de transmisión asociado. En un sistema ilustrativo, los haces se forman en múltiples canales de ancho de banda de 500 MHz en la banda Ka y un código PN de 400 Mcps se filtra o se conforma como impulso para que encaje en un canal de ancho de banda de 500 MHz. Cuando se utilizan múltiples canales, puede transmitirse el mismo código PN en cada uno de los canales. El sistema puede emplear una baliza para cada canal o una baliza para dos o más canales.

Dado que puede haber un gran número de rutas de señal de recepción/transmisión en un retransmisor de extremo a extremo, puede no requerirse una redundancia de rutas individuales de señales de recepción/transmisión. Tras el fallo de una ruta de señal de recepción/transmisión, el sistema aún puede funcionar muy cerca de su nivel de rendimiento previo, aunque puede utilizarse la modificación de los coeficientes de formación de haces para tener en cuenta la pérdida.

Redes terrestres

La red terrestre de un sistema de formación de haces de extremo a extremo ilustrativo contiene un número de estaciones terrestres de Access Node (nodo de acceso - AN) distribuidas geográficamente dirigidas a un retransmisor común de extremo a extremo. Observando primero el enlace directo, un Central Processing System (sistema de procesamiento central - CPS) calcula las ponderaciones de haz para la transmisión de datos de usuario e interfaces a los AN a través de una red de distribución. El CPS también interactúa con las fuentes de datos que se proporcionan a los terminales de usuario. La red de distribución puede implementarse de diversas formas, por ejemplo, utilizando una infraestructura de cable de fibra óptica. La temporización entre el CPS y los SAN puede ser determinística (*p. ej.*, utilizando canales con conmutación de circuitos) o no determinística (*p. ej.*, utilizando una red con conmutación de paquetes). En algunos casos, el CPS se implementa en un único sitio, por ejemplo, utilizando application specific integrated circuits (circuitos integrados específicos de aplicación - ASIC) para tratar el procesamiento de señales. En algunos casos, el CPS se implementa de forma distribuida, por ejemplo, utilizando técnicas de computación en la nube.

Volviendo al ejemplo de la Fig. 5, el CPS 505 puede incluir una pluralidad de módems 507 de enlace alimentador. Para el enlace directo, cada uno de los módems 507 de enlace alimentador recibe flujos 509 de datos de usuario directos desde diversas fuentes de datos, tales como la internet, una cabecera de vídeo (no mostrada), etc. Los flujos 509 de datos de usuario directos se modulan mediante los módems 507 en K señales 511 de haz directo. En algunos casos, K puede estar en el intervalo de 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512, 1024 o números intermedios o mayores. Cada una de las K señales de haz directo transporta flujos de datos de usuario directo a transmitir en uno de los K haces de usuario directos. Por lo tanto, si $K = 400$, existen 400 señales 511 de haz directo, cada una para transmitirse a través de uno asociado de los 400 haces de usuario directos a un área 519 de cobertura de haz de usuario directo. Las K señales 511 de haz directo están acopladas a un formador de haces directo.

Si los M AN 515 están presentes en el segmento 502 terrestre, la salida del formador de haces directo son las M señales 516 directas específicas de nodo de acceso, cada una de las cuales comprende señales de haz directo ponderadas que corresponden a algunas o todas las K señales 511 de haz directo. El formador de haces directo puede generar las M señales 516 directas de nodo de acceso basándose en un producto $K \times M$ de matriz de la matriz de ponderación de haz directo con las K señales de datos directas. Una red 518 de distribución distribuye cada una de las M señales directas específicas de nodo de acceso a uno de los M AN 515 correspondientes. Cada AN 515 transmite una señal 521 de enlace ascendente directo que comprende una señal 516 directa específica de nodo de acceso respectiva. Cada AN 515 transmite su respectiva señal 521 de enlace ascendente directo para su retransmisión a una o más (*p. ej.*, hasta e incluyendo todas) de las áreas de cobertura de haz de usuario directo a través de una o más (*p. ej.*, hasta e incluyendo todas) las rutas de señal de recepción/transmisión directas del retransmisor de extremo a extremo. Los transpondedores 410, 411 dentro del retransmisor 503 de extremo a extremo reciben una señal directa de entrada compuesta que comprende una superposición 550 de señales 521 de enlace ascendente directo transmitidas por una pluralidad (*p. ej.*, hasta e incluyendo todas) de los AN 515. Cada transpondedor (*p. ej.*, cada ruta de señal de recepción/transmisión a través del retransmisor) retransmite la señal directa de entrada compuesta como una respectiva señal de enlace descendente directo a los terminales 517 de usuario a través del enlace descendente directo.

La Fig. 27 es una ilustración de una distribución ilustrativa de los AN 515. Cada uno de los círculos numerados más pequeños representa la localización de un AN 515. Cada uno de los círculos más grandes indica un área 519 de cobertura de haz de usuario. En algunos casos, los AN 515 están separados de forma aproximadamente uniforme

en el área de cobertura del retransmisor 503 de extremo a extremo. En otros casos, los AN 515 pueden distribuirse de modo no uniforme en toda el área de cobertura. En otros casos, los AN 515 pueden distribuirse de modo uniforme o no uniforme en una o más subregiones del área de cobertura de retransmisor. De forma típica, el rendimiento de sistema es mejor cuando los AN 515 están distribuidos de modo uniforme en toda el área de cobertura. Sin embargo, ciertas consideraciones pueden requerir compromisos en la situación del AN. Por ejemplo, puede situarse un AN 515 basándose en la cantidad de interferencia, lluvia u otras condiciones ambientales, el coste de los bienes inmuebles, el acceso a la red de distribución, etc. Por ejemplo, para un sistema de retransmisor de extremo a extremo basado en satélite que es sensible a la lluvia, pueden situarse más de los AN 515 en áreas que tienen menor probabilidad de experimentar un desvanecimiento inducido por la lluvia (*p. ej.*, oeste de los Estados Unidos). Como otro ejemplo, los AN 515 pueden situarse con mayor densidad en regiones de mucha lluvia (*p. ej.*, sureste de los Estados Unidos) para proporcionar alguna ganancia de diversidad para contrarrestar los efectos del desvanecimiento por lluvia. Los AN 515 pueden situarse a lo largo de rutas de fibra para reducir costes de distribución asociados a los AN 515.

El número de AN 515, M , es un parámetro seleccionable que puede seleccionarse basándose en varios criterios. Menos AN pueden dar lugar a un segmento terrestre más simple y de menor coste y a menores costes operativos para la red de distribución. Más AN pueden dar lugar a una mayor capacidad de sistema. La Fig. 28 muestra una simulación de la capacidad de enlace directo y de retorno normalizada como una función del número de AN desplegados en un sistema ilustrativo. La capacidad normalizada es la capacidad con M AN dividida por la capacidad obtenida con el mayor número de AN en la simulación. La capacidad aumenta a medida que aumenta el número de AN, pero no aumenta sin límite. Tanto las capacidades de enlace directo como de enlace de retorno se aproximan a un límite asintótico a medida que aumenta el número de AN. Esta simulación se realizó con $L = 517$ elementos de antena de transmisión y recepción y con los AN distribuidos de modo uniforme en el área de cobertura, pero este comportamiento asintótico de la capacidad puede verse con otros valores para L y otras distribuciones espaciales de AN. Las curvas como las mostradas en la Fig. 28 pueden ser útiles en la selección del número de AN, M , a desplegar y en la comprensión de cómo la capacidad del sistema puede estar en fase a medida que los AN se despliegan incrementalmente, como se ha explicado anteriormente.

La Fig. 29 es un diagrama de bloques de un segmento 502 terrestre ilustrativo para un sistema de formación de haces de extremo a extremo. La Fig. 29 puede ilustrar, por ejemplo, el segmento 502 terrestre de la Fig. 5. El segmento 502 terrestre comprende el CPS 505, la red 518 de distribución y los AN 515. El CPS 505 comprende una interfaz 524 de señal de haz, un formador 513 de haces directo/de retorno, una interfaz 536 de distribución y un generador 910 de ponderación de haz.

Para el enlace directo, la interfaz 524 de señal de haz obtiene las señales 511 de haz directo (FBS) asociadas con cada uno de los haces de usuario directos. La interfaz 524 de señal de haz puede incluir el multiplexor 526 de datos de haz directo y el modulador 528 de flujo de datos de haz directo. El multiplexor 526 de datos de haz directo puede recibir flujos 509 de datos directos de usuario que comprenden datos directos para su transmisión a los terminales 517 de usuario. Los flujos 509 de datos de usuario directos pueden comprender, por ejemplo, paquetes de datos (*p. ej.*, paquetes de TCP, paquetes de UDP, etc.) para su transmisión a los terminales 517 de usuario a través del sistema 500 de formación de haces de extremo a extremo de la Fig. 5. El multiplexor 526 de datos de haz directo agrupa (*p. ej.*, multiplexa) los flujos 509 de datos directos de usuario según sus respectivas áreas de cobertura de haz de usuario directo para obtener los flujos 532 de datos de haz directo. El multiplexor 526 de datos de haz directo puede utilizar, por ejemplo, multiplexación en el dominio de tiempo, multiplexación en el dominio de la frecuencia o una combinación de técnicas de multiplexación para generar los flujos 532 de datos de haz directo. El modulador 528 de flujo de datos de haz directo puede modular los flujos 532 de datos de haz directo según uno o más esquemas de modulación (*p. ej.*, correlación de bits de datos con símbolos de modulación) para crear las señales 511 de haz directo, que se pasan al formador 513 de haces directo/de retorno. En algunos casos, el modulador 528 puede multiplexar en frecuencia múltiples señales moduladas para crear una señal 511 de haz multiportadora. La interfaz 524 de señal de haz puede implementar, por ejemplo, la funcionalidad de los módems 507 de enlace alimentador analizados con referencia a la Fig. 5.

El formador 513 de haces directo/de retorno puede incluir el formador 529 de haces directo y el formador 531 de haces de retorno. El generador 910 de ponderación de haz genera una matriz 918 de ponderación de haz directo $M \times K$. A continuación se explican con mayor detalle técnicas para generar la matriz 918 de ponderación de haz directo de $M \times K$. El formador 529 de haces directo puede incluir un multiplicador de matriz que calcula las M señales 516 directas específicas de nodo de acceso. Por ejemplo, este cálculo puede basarse en un producto de matriz de la matriz 918 de ponderación de haz directo $M \times K$ y un vector de las K señales 511 de haz directo. En algunos ejemplos, cada una de las K señales 511 de haz directo puede asociarse con una de F subbandas de frecuencia directas. En este caso, el formador 529 de haces directo puede generar muestras para las M señales 516 directas específicas de nodo de acceso para cada una de las F subbandas de frecuencia directa (*p. ej.*, implementando de forma efectiva la operación de producto de matriz para cada una de las F subbandas para los subconjuntos respectivos de las K señales 511 de haz directo. La interfaz 536 de distribución distribuye (*p. ej.*, a través de la red 518 de distribución) las M señales 516 directas específicas de nodo de acceso a los AN 515 respectivos.

Para el enlace de retorno, la interfaz 536 de distribución obtiene las señales 907 de retorno compuestas desde los AN 515 (*p. ej.*, a través de la red 518 de distribución). Cada señal de datos de retorno desde los terminales 517 de

usuario puede incluirse en múltiples (*p. ej.*, hasta, e incluyendo, todas) de las señales 907 de retorno compuestas. El generador 910 de ponderación de haz genera una matriz 937 de ponderación de haz de retorno de $K \times M$. Las técnicas para generar la matriz 937 de ponderación de haz de retorno $K \times M$ se analizan con más detalle a continuación. El formador 531 de haces de retorno calcula las K señales 915 de haz de retorno para las K áreas de cobertura de haz de retorno. Por ejemplo, este cálculo puede basarse en un producto de matriz de la matriz 937 de ponderación de haz de retorno y un vector de las respectivas señales 907 de retorno compuestas. La interfaz 524 de señal de haz puede incluir el demodulador 552 de señal de haz de retorno y el demultiplexor 554 de datos de haz de retorno. El demodulador 552 de señal de haz de retorno puede demodular cada una de las señales de haz de retorno para obtener K flujos 534 de datos de haz de retorno asociados a las K áreas de cobertura de haz de usuario de retorno. El demultiplexor 554 de datos de haz de retorno puede demultiplexar cada uno de los K flujos 534 de datos de haz de retorno en los respectivos flujos 535 de datos de usuario de retorno asociados a las señales de datos de retorno transmitidas desde los terminales 517 de usuario. En algunos ejemplos, cada uno de los haces de usuario de retorno puede asociarse a una de R subbandas de frecuencia de retorno. En este caso, el formador 531 de haces de retorno puede generar subconjuntos respectivos de las señales 915 de haz de retorno asociadas con cada una de las R subbandas de frecuencia de retorno (*p. ej.*, implementando de forma efectiva la operación de producto de matriz para cada una de las R subbandas de frecuencia de retorno para generar subconjuntos respectivos de las señales 915 de haz de retorno).

La Fig. 30 es un diagrama de bloques de un formador 513 de haces directo/de retorno ilustrativo. El formador 513 de haces directo/de retorno comprende un formador 529 de haces directo, un módulo 945 de temporización directo, un formador 531 de haces de retorno y un módulo 947 de temporización. El módulo 945 de temporización directo asocia cada una de las M señales 516 directas específicas de nodo de acceso con una indicación de tiempo (*p. ej.*, multiplexa la indicación de tiempo con la señal directa específica de nodo de acceso en una señal directa específica de nodo de acceso multiplexado) que indica cuándo se desea que la señal llegue al retransmisor de extremo a extremo. De esta forma, los datos de las K señales 511 de haz directo que se dividen en un módulo 904 de división dentro del formador 529 de haces directo pueden ser transmitidas en el momento apropiado por cada uno de los AN 515. El módulo 947 de temporización alinea las señales de recepción basándose en las indicaciones de tiempo. Las muestras de las M composite return signals (señales 907 de retorno compuestas - CRS) de AN se asocian a indicaciones de tiempo que indican cuándo se transmitieron las muestras particulares desde el retransmisor de extremo a extremo. A continuación se explican con mayor detalle las consideraciones de temporización y la generación de las indicaciones de tiempo.

El formador 529 de haces directo tiene una entrada 925 de datos, una entrada 920 de ponderaciones de haz y una salida 923 de nodo de acceso. El formador 529 de haces directo aplica los valores de una matriz de ponderación de haz de $M \times K$ a cada una de las K señales 511 de datos directos para generar M señales 521 directas específicas de nodo de acceso, teniendo cada una de ellas K señales de haz directo ponderadas. El formador 529 de haces directo puede incluir un módulo 904 de división y M módulos 533 de ponderación y suma directos. El módulo 904 de división divide (*p. ej.*, duplica) cada una de las K señales 511 de haz directo en M grupos 906 de K señales de haz directo, un grupo 906 para cada uno de los M módulos 533 de ponderación y suma directos. Por lo tanto, cada módulo 533 de ponderación y suma directo recibe todas las K señales 511 de datos directos.

Un generador 917 de ponderación de haz directo genera una matriz 918 de ponderación de haz directo $M \times K$. En algunos casos, la matriz 918 de ponderación de haz directo se genera basándose en una matriz de canal en la que los elementos son estimaciones de las ganancias directas de extremo a extremo para cada uno de los $K \times M$ canales de ruta múltiple directos de extremo a extremo, como se explica adicionalmente a continuación. Las estimaciones de la ganancia directa de extremo a extremo se hacen en un módulo 919 estimador de canal. En algunos casos, el estimador de canal tiene un almacenamiento 921 de datos de canal que almacena datos relacionados con diversos parámetros de los canales de ruta múltiple de extremo a extremo, como se explica con más detalle a continuación. El estimador 919 de canal emite una señal de ganancia de extremo a extremo estimada para permitir que el generador 917 de ponderación de haz directo genere la matriz 918 de ponderación de haz directo. Cada uno de los módulos 533 de ponderación y suma se acoplan para recibir los vectores de las ponderaciones de formación de haces de la matriz 918 de ponderación de haz directo (por simplicidad, en la Fig. 30 se muestra solo una de tales conexiones). El primer módulo 533 de ponderación y suma aplica una ponderación igual al valor del elemento 1,1 de la matriz 918 de ponderación de haz directo $M \times K$ a la primera de las K señales 511 de haz directo (se explica con mayor detalle a continuación). Se aplica una ponderación igual al valor del elemento 1,2 de la matriz 918 de ponderación de haz directo $M \times K$ a la segunda de las K señales 511 de haz directo. Las otras ponderaciones de la matriz se aplican de forma similar, a través de la $K^{\text{ésima}}$ señal 511 de haz directo, que se pondera con el valor igual al elemento 1, K de la matriz 918 de ponderación de haz directo $M \times K$. Cada una de las K señales 903 de haz directo ponderadas se suman y se emiten desde el primer módulo 533 de ponderación y suma como una señal 516 directa específica de nodo de acceso. La señal 516 directa específica de nodo de acceso emitida por el primer módulo 533 de ponderación y suma se acopla a continuación al módulo 945 de temporización. El módulo 945 de temporización emite la señal 516 directa específica de nodo de acceso al primer AN 515 a través de una red 518 de distribución (véase la Fig. 5). De forma similar, cada uno de los otros módulos 533 de ponderación y suma reciben las K señales 511 de haz directo y pondera y suma las K señales 511 de haz directo. Las salidas de cada uno de los M módulos 533 de ponderación y suma se acoplan a través de la red 518 de distribución a los MAN 515 asociados, de modo que la salida del $m^{\text{ésimo}}$ módulo de ponderación y suma

se acopla al m^{simo} AN 515. En algunos casos, la fluctuación y el retardo no uniforme a través de la red de distribución, así como algunas otras consideraciones de temporización, son manejados por el módulo 945 de temporización asociando una indicación de tiempo con los datos. A continuación se proporcionan detalles de una técnica de temporización ilustrativa con respecto a las Figs. 36 y 37.

Como consecuencia de las ponderaciones de haz aplicadas por los formadores 529 de haz directo en el segmento 502 terrestre, las señales que se transmiten desde los AN 515 a través del retransmisor 503 de extremo a extremo forman haces de usuario. El tamaño y la localización de los haces que son capaces de formarse pueden ser función del número de AN 515 que se despliegan, del número y patrones de antena de los elementos de antena de retransmisor a través de los cuales pasa la señal, de la localización del retransmisor 503 de extremo a extremo y/o de la separación geográfica de los AN 515.

Haciendo referencia ahora al enlace 523 de retorno de extremo a extremo mostrado en la Fig. 5, un terminal 517 de usuario dentro de una de las áreas 519 de cobertura de haz de usuario transmite señales hasta el retransmisor 503 de extremo a extremo. Las señales se transmiten, a continuación, al segmento 502 terrestre. Las señales son recibidas por los AN 515.

Haciendo referencia una vez más a la Fig. 30, las M señales 527 de enlace descendente de retorno son recibidas por los M AN 515 y se acoplan, como señales 907 de retorno compuestas, desde los M AN 515 a través de la red 518 de distribución y se reciben en una entrada 931 de nodo de acceso del formador 531 de haces de retorno. El módulo 947 de temporización alinea las señales de retorno compuestas desde los M AN 515 entre sí y emite las señales alineadas temporalmente al formador 531 de haces de retorno. Un generador 935 de ponderación de haz de retorno genera las ponderaciones de haz de retorno como una matriz 937 de ponderación de haz de retorno $K \times M$ basándose en la información almacenada en un almacenamiento 941 de datos de canal dentro de un estimador 943. El formador 531 de haces de retorno tiene una entrada 939 de ponderaciones de haz a través de la cual el formador 531 de haces de retorno recibe la matriz 937 de ponderación de haz de retorno. Cada una de las M señales 907 de retorno compuestas de AN se acopla a uno de los M módulos 539 de divisor y ponderación asociados dentro del formador 531 de haces de retorno. Cada módulo 539 divisor y de ponderación divide la señal alineada en tiempo en K copias 909. Los módulos 539 divisor y de ponderación ponderan cada una de las K copias 909 utilizando el elemento k, m de la matriz 937 de ponderación de haz de retorno $K \times M$. A continuación, se proporcionan detalles adicionales referentes a la matriz de ponderación de haz de retorno $K \times M$. Cada conjunto de K señales 911 de retorno compuestas ponderadas se acopla entonces a un módulo 913 de combinación. En algunos casos, el módulo 913 de combinación combina la k^{sima} señal 911 de retorno compuesta ponderada emitida desde cada módulo 539 divisor y de ponderación. El formador 531 de haces de retorno tiene una salida 933 de señal de datos de retorno que emite K señales 915 de haz de retorno, cada una de las cuales tiene las muestras asociadas a uno de los K haces 519 de usuario de retorno (*p. ej.*, las muestras recibidas a través de cada uno de los M AN). Cada una de las K señales 915 de haces de retorno puede tener muestras de uno o más terminales 517 de usuario. Las K señales 915 de haz de retorno con formación de haces, combinadas y alineadas se acoplan a los módems 507 de enlace alimentador (véase la Fig. 5). Obsérvese que el ajuste de temporización de retorno puede hacerse después de la división y la ponderación. De forma similar, para el enlace directo, el ajuste de temporización directo puede realizarse antes de la formación de haces.

Como se ha explicado anteriormente, el formador 529 de haces directo puede realizar operaciones de producto de matriz en muestras de entrada de las K señales 511 de haz directo para calcular M señal 516 directa específica de nodo de acceso en tiempo real. A medida que aumenta el ancho de banda del haz (*p. ej.*, para soportar una duración de símbolo más corta) y/o K y M se vuelven grandes, la operación de producto de matriz se vuelve computacionalmente intensiva y puede exceder las capacidades de un único nodo informático (*p. ej.*, un único servidor informático, etc.). Las operaciones del formador 531 de haces de retorno son, de modo similar, computacionalmente intensivas. Pueden utilizarse diversos enfoques para particionar recursos informáticos de múltiples nodos informáticos en el formador 513 de haces directo/de retorno. En un ejemplo, el formador 529 de haces directo de la Fig. 30 puede particionarse en módulos 533 de ponderación y suma separados para cada uno de los M AN 515, que pueden distribuirse en distintos nodos informáticos. De forma general, las consideraciones para las implementaciones incluyen coste, consumo de potencia, escalabilidad en relación con K , M y ancho de banda, disponibilidad de sistema (*p. ej.*, debido a un fallo de nodo, etc.), capacidad de actualización y latencia de sistema. El ejemplo anterior es por fila (o columna). Es posible también al revés. Pueden considerarse otras formas de agrupar las operaciones de matriz (*p. ej.*, dividir en cuatro con $[1, 1 \text{ a } K/2, M/2, \dots]$, calculadas individualmente y sumadas).

En algunos casos, el formador 513 de haces directo/de retorno puede incluir una arquitectura de multiplexación en el dominio de tiempo para el procesamiento de operaciones de ponderación de haz mediante formadores de haces de intervalo de tiempo. La Fig. 31 es un diagrama de bloques de un formador 529 de haces directo ilustrativo que comprende múltiples formadores de haces de intervalo de tiempo directos con demultiplexación y multiplexación de dominio de tiempo. El formador 529 de haces directo incluye un demultiplexor 3002 de señal de haz directo, N formadores 3006 de haces de intervalo de tiempo directo y un multiplexor 3010 de señal de nodo de acceso directo.

El demultiplexor 3002 de señal de haz directo recibe las señales 511 de haz directo y demultiplexa las K señales 511 de haz directo en las entradas 3004 de intervalo de tiempo directo para su entrada a los N formadores 3006 de haces de

intervalo de tiempo directos. Por ejemplo, el demultiplexor 3002 de señal de haz directo envía un primer subconjunto de muestras en el dominio de tiempo para las K señales 511 de haz directo a un primer formador 3006 de haces de intervalo de tiempo directo, lo que genera muestras asociadas con las M señales directas específicas de nodo de acceso que corresponden al primer subconjunto de muestras en el dominio de tiempo. El formador 3006 de haces de intervalo de tiempo directo emite las muestras asociadas con las M señales directas específicas de nodo de acceso para el primer subconjunto de muestras en el dominio de tiempo a través de su salida 3008 de intervalo de tiempo directo al multiplexor 3010 de señal de nodo de acceso directo. El formador 3006 de haces de intervalo de tiempo directo puede emitir las muestras asociadas con cada una de las M señales directas específicas de nodo de acceso con información de temporización de sincronización (*p. ej.*, el correspondiente índice de intervalo de tiempo, etc.) utilizada por los nodos de acceso para hacer (*p. ej.*, mediante corrección previa) que las respectivas señales directas específicas de nodo de acceso se sincronicen cuando sean recibidas por el retransmisor de extremo a extremo. El multiplexor 3010 de señal de nodo de acceso directo multiplexa subconjuntos de muestras en el dominio de tiempo para las M señales directas específicas de nodo de acceso recibidas a través de las N salidas 3008 de intervalo de tiempo directas para generar las M señales 516 directas específicas de nodo de acceso. Cada uno de los formadores 3006 de haces de intervalo de tiempo directos puede incluir un búfer de datos, un búfer de matriz de haces y un procesador de ponderación de haz que implementa la operación de producto de matriz. Es decir, cada uno de los formadores 3006 de haces de intervalo de tiempo directos puede implementar cálculos matemáticamente equivalentes al módulo 904 de división y los módulos 533 de ponderación y suma directos mostrados para el formador 529 de haces directo de la Fig. 30 durante el procesamiento de las muestras de un índice de intervalo de tiempo. La actualización de la matriz de ponderación de haz puede hacerse de forma incremental. Por ejemplo, los búferes de matriz de ponderación de haz para los formadores de haces de intervalo de tiempo directos pueden actualizarse durante el tiempo en reposo en una rotación de los índices de intervalo de tiempo t a través de los N formadores 3006 de haces de intervalo de tiempo directos. De forma alternativa, cada formador de haces de intervalo de tiempo directo puede tener dos memorias intermedias que pueden utilizarse en una configuración ping-pong (*es decir*, una puede actualizarse mientras la otra se está utilizando). En algunos casos, pueden utilizarse múltiples memorias intermedias para almacenar ponderaciones de haz que corresponden a múltiples patrones de haces de usuario (*p. ej.*, múltiples áreas de cobertura de usuario). Los búferes de ponderación de haz y los búferes de datos para los formadores 3006 de haces de intervalo de tiempo directos pueden implementarse como cualquier tipo de memoria o almacenamiento que incluya una random access memory (memoria de acceso aleatorio - RAM) dinámica o estática. El procesamiento de ponderación de haz puede implementarse en un application specific integrated circuit (circuito integrado específico de la aplicación - ASIC) y/o en una field programmable gate array (matriz de puertas programable en campo - FPGA), y puede incluir uno o más núcleos de procesamiento (*p. ej.*, en un entorno informático en la nube). De forma adicional o alternativa, la memoria intermedia de ponderación de haz, la memoria intermedia de datos y el procesador de ponderación de haz pueden integrarse dentro de un componente.

La Fig. 32 ilustra un segmento terrestre ilustrativo simplificado que muestra el funcionamiento de un formador 529 de haces de intervalo de tiempo directo. En el ejemplo de la Fig. 32, el formador 529 de haces directo recibe cuatro señales de haz directo (*p. ej.*, $K=4$), genera señales directas específicas de nodo de acceso para cinco AN (*p. ej.*, $M=5$) y tiene tres formadores de haces de intervalo de tiempo directos (*p. ej.*, $N=3$). Las señales de haz directo se indican mediante $FB_k:t$, donde k es el índice de señal de haz directo y t es el índice de intervalo de tiempo (*p. ej.*, que corresponde a un subconjunto de muestras en el dominio de tiempo). El demultiplexor 3002 de señal de haz directo recibe cuatro subconjuntos de muestras en el dominio de tiempo de las señales de haz directo asociadas con cuatro haces de usuario directos y demultiplexa cada señal de haz directo, de modo que una entrada 3004 de intervalo de tiempo directo incluye, para un índice de intervalo de tiempo t particular, los subconjuntos de muestras en el dominio de tiempo de cada una de las señales 511 de haz directo. Por ejemplo, los subconjuntos de dominio de tiempo pueden ser una muestra única, un bloque contiguo de muestras o un bloque no contiguo (*p. ej.*, intercalado) de muestras como se describe a continuación. Los formadores 3006 de haces de intervalo de tiempo directos generan (*p. ej.*, basándose en las señales 511 de haz directo y la matriz 918 de ponderación de haz directo) cada una de las M señales directas específicas de nodo de acceso para un índice de intervalo de tiempo t , indicado mediante $AF_m:t$. Por ejemplo, los subconjuntos de dominio de tiempo de las muestras $FB1:0$, $FB2:0$, $FB3:0$ y $FB4:0$ para el índice de intervalo de tiempo $t=0$ se introducen en el primer formador 3006 de haces de intervalo de tiempo directo TSBF[1], lo que genera muestras de señales directas específicas de nodo de acceso $AF1:0$, $AF2:0$, $AF3:0$, $AF4:0$ y $AF5:0$ correspondientes en una salida 3008 de intervalo de tiempo directo. Para valores de índice de intervalo de tiempo posteriores $t=1, 2$, los subconjuntos de muestras en el dominio de tiempo de las señales 511 de haz directo se demultiplexan mediante el demultiplexor 3002 de señal de haz directo para su entrada en un segundo y tercer formadores 3006 de haces de intervalo de tiempo directos, que generan señales directas específicas de nodo de acceso asociadas a los correspondientes índices de intervalo de tiempo t en las salidas 3008 de intervalo de tiempo directo. La Fig. 32 también muestra que en el valor de índice de intervalo de tiempo $t=3$, el primer formador de haces de intervalo de tiempo directo genera señales directas específicas de nodo de acceso asociadas con el índice 3 de intervalo de tiempo correspondiente. La operación de producto de matriz realizada por cada formador 3006 de haces de intervalo de tiempo directo para un valor de índice de intervalo de tiempo t puede tardar más que el tiempo real del subconjunto de muestras en el dominio de tiempo (*p. ej.*, el número de muestras S multiplicado por la tasa de muestra t_s). Sin embargo, cada formador 3006 de haces de intervalo de tiempo directo solo puede procesar un subconjunto de muestras en el dominio de tiempo cada N índices de intervalo de tiempo t . El multiplexor 3010 de señal de nodo de acceso directo recibe salidas 3030 de intervalo de tiempo directas de cada uno de los formadores 3006 de haces de intervalo de tiempo directos y multiplexa los subconjuntos de muestras en el dominio de tiempo para generar las M señales 516 directas específicas de nodo de acceso para su distribución a AN respectivos.

La Fig. 33 es un diagrama de bloques de un formador 531 de haces de retorno ilustrativo que comprende múltiples formadores de haces de intervalo de tiempo de retorno con demultiplexación y multiplexación en el dominio de tiempo. El formador 531 de haces de retorno incluye un demultiplexor 3012 de señal compuesta de retorno, N formadores 3016 de haces de intervalo de tiempo de retorno y un multiplexor 3020 de señal de haz de retorno. El demultiplexor 3012 de señal compuesta de retorno recibe las M señales 907 de retorno compuestas (*p. ej.*, desde los M AN) y demultiplexa las M señales 907 de retorno compuestas en las entradas 3014 de intervalo de tiempo de retorno para su entrada en los N formadores 3016 de haz de intervalo de tiempo de retorno. Cada uno de los formadores 3016 de haces de intervalo de tiempo de retorno emite las muestras asociadas con las K señales 915 de haz de retorno para los subconjuntos de muestras correspondientes en el dominio de tiempo a través de las respectivas salidas 3018 de intervalo de tiempo de retorno al multiplexor 3020 de señal de haz de retorno. El multiplexor 3020 de señal de haz de retorno multiplexa los subconjuntos de muestras en el dominio de tiempo de las K señales de haz de retorno recibidas a través de las N salidas 3018 de intervalo de tiempo de retorno para generar las K señales 915 de haz de retorno. Cada uno de los formadores 3016 de haz de intervalo de tiempo de retorno puede incluir un búfer de datos, un búfer de matriz de haces y un procesador de ponderación de haz que aplica la operación de producto de matriz. Es decir, cada uno de los formadores 3016 de haz de intervalo de tiempo de retorno puede aplicar cálculos matemáticamente equivalentes a los módulos 539 de divisor y ponderación y el módulo 913 de combinación mostrados para el formador 531 de haces de retorno de la Fig. 30 durante el procesamiento de las muestras de un índice de intervalo de tiempo. Como se ha explicado anteriormente con los formadores de haces de intervalo de tiempo directos, la actualización de la matriz de ponderación de haz puede realizarse de forma incremental utilizando una configuración de memoria intermedia de ponderación de haz ping-pong (*p. ej.*, una puede actualizarse mientras la otra se está utilizando). En algunos casos, pueden utilizarse múltiples memorias intermedias para almacenar ponderaciones de haz que corresponden a múltiples patrones de haces de usuario (*p. ej.*, múltiples áreas de cobertura de usuario). Los búferes intermedios de ponderación de haz y los búferes de datos para los formadores 3016 de haces de intervalo de tiempo de retorno pueden implementarse como cualquier tipo de memoria o almacenamiento, incluyendo una random access memory (memoria de acceso aleatorio - RAM) dinámica o estática. El procesamiento de ponderación de haz puede implementarse en un application specific integrated circuit (circuito integrado específico de la aplicación - ASIC) y/o en una field programmable gate array (matriz de puertas programable en campo - FPGA) y puede incluir uno o más núcleos de procesamiento. De forma adicional o alternativa, la memoria intermedia de ponderación de haz, la memoria intermedia de datos y el procesador de ponderación de haz pueden integrarse dentro de un componente.

La Fig. 34 ilustra un segmento terrestre ilustrativo simplificado que muestra el funcionamiento de un formador 531 de haces de retorno empleando multiplexación en el dominio de tiempo. En el ejemplo de la Fig. 33, el formador 531 de haces de retorno recibe cinco señales de retorno compuestas (*p. ej.*, $M=5$), genera señales de haz de retorno para cuatro haces de usuario de retorno (*p. ej.*, $K=5$), y tiene tres formadores de haces de intervalo de tiempo (*p. ej.*, $N=3$). Las señales de retorno compuestas se indican mediante $RCm:t$, donde m es el índice de AN y t es el índice de intervalo de tiempo (*p. ej.*, que corresponde a un subconjunto de muestras en el dominio de tiempo). El demultiplexor 3012 de señal compuesta de retorno recibe cuatro subconjuntos de muestras en el dominio de tiempo de las señales de retorno compuestas desde cinco AN y demultiplexa cada señal de retorno compuesta de modo que una entrada 3014 de intervalo de tiempo de retorno incluye, para un índice de intervalo de tiempo t particular, los correspondientes subconjuntos de muestras en el dominio de tiempo de cada una de las señales 907 de retorno compuestas. Por ejemplo, los subconjuntos de dominio de tiempo pueden ser una muestra única, un bloque contiguo de muestras o un bloque no contiguo (*p. ej.*, intercalado) de muestras como se describe a continuación. Los formadores 3016 de haz de intervalo de tiempo de retorno generan (*p. ej.*, basándose en las señales 907 de retorno compuestas y la matriz 937 de ponderación de haz de retorno) cada una de las K señales de haces de retorno para el índice de intervalo de tiempo t , indicada mediante $RBk:t$. Por ejemplo, los subconjuntos en el dominio de tiempo de las muestras $RC1:0$, $RC2:0$, $RC3:0$, $RC4:0$ y $RC5:0$ para el índice de intervalo de tiempo $t=0$ se introducen en un primer formador 3016 de haces de intervalo de tiempo de retorno, lo que genera las muestras de señales de haz de retorno $RB1:0$, $RB2:0$, $RB3:0$ y $RB4:0$ correspondientes en una salida 3018 de intervalo de tiempo de retorno. Para los valores de índice de intervalo de tiempo $t=1, 2$ posteriores, los subconjuntos de muestras de dominio de tiempo de las señales 907 de retorno compuestas son demultiplexadas por el demultiplexor 3012 de señal compuesta de retorno para su entrada en un segundo y un tercer formador 3016 de haces de intervalo de tiempo de retorno, respectivamente, que generan muestras para las señales de haz de retorno asociadas con los correspondientes índices de intervalo de tiempo t en las salidas 3018 de intervalo de tiempo de retorno. La Fig. 34 también muestra que en el valor de índice de intervalo de tiempo $t=3$, el primer formador de haces de intervalo de tiempo de retorno genera muestras de señales de haz de retorno asociadas al índice 3 de intervalo de tiempo correspondiente. La operación del producto de matriz realizada por cada formador 3016 de haces de intervalo de tiempo de retorno para un valor de índice de intervalo de tiempo t , puede tardar más que el tiempo real del subconjunto de muestras en el dominio de tiempo (*p. ej.*, el número de muestras S multiplicado por la tasa de muestras t_s). Sin embargo, cada formador 3016 de haces de intervalo de tiempo de retorno puede procesar únicamente un subconjunto de muestras en el dominio de tiempo cada N índices de intervalo de tiempo t . El multiplexor 3020 de señal de haz de retorno recibe las salidas 3018 de intervalo de tiempo de retorno desde cada uno de los formadores 3016 de haces de intervalo de tiempo de retorno y multiplexa los subconjuntos de muestras en el dominio de tiempo para generar las K señales 915 de haz de retorno.

Aunque las Figs. 31-34 ilustran el mismo número N de formadores 3006 de haces de intervalo de tiempo directos que los formadores 3016 de haz de intervalo de tiempo de retorno, algunas implementaciones pueden tener más o menos

formadores 3006 de haces de intervalo de tiempo directos que formadores 3016 de haz de intervalo de tiempo de retorno. En algunos ejemplos, el formador 529 de haces directo y/o el formador 531 de haces de retorno pueden tener capacidad sobrante para robustez contra fallos de nodo. Por ejemplo, si cada formador 3006 de haces de intervalo de tiempo directo tarda t_{TS} para procesar un conjunto de muestras para un índice de intervalo de tiempo t que tenga una duración de intervalo de tiempo en tiempo real t_D , donde $t_{TS}=N \cdot t_D$, el formador 529 de haces directo puede tener $N+E$ formadores 3006 de haces de intervalo de tiempo directos. En algunos ejemplos, cada uno de los $N+E$ formadores 3006 de haces de intervalo de tiempo directos se utilizan en funcionamiento, teniendo cada formador 3006 de haces de intervalo de tiempo directo una capacidad adicional efectiva de E/N . Si falla un formador 3006 de haces de intervalo de tiempo directo, las operaciones pueden desplazarse a otro formador 3006 de haces de intervalo de tiempo directo (*p. ej.*, ajustando cómo se enrutan las muestras de dominio de tiempo (o grupos de muestras) a través de la demultiplexación y multiplexación en el dominio de tiempo). Por lo tanto, el formador 529 de haces directo puede ser tolerante hasta el fallo de E formadores 3006 de haces de intervalo de tiempo directos antes de que se afecte al rendimiento del sistema. Además, la capacidad adicional permite el mantenimiento del sistema y la actualización de los formadores de haces de intervalo de tiempo mientras el sistema está funcionando. Por ejemplo, la actualización de los formadores de haces de intervalo de tiempo puede llevarse a cabo de forma incremental porque el sistema es tolerante a distintos rendimientos entre formadores de haces de intervalo de tiempo. Las muestras de datos asociadas al índice de intervalo t pueden estar intercaladas. Por ejemplo, un primer índice de intervalo de tiempo t_0 puede estar asociado a las muestras 0, P , $2P \dots (S-1) \cdot P$, mientras que un segundo índice de intervalo de tiempo t_1 puede estar asociado a las muestras 1, $P+1$, $2P+1 \dots (S-1) \cdot P+1$, *etc.*, donde S es el número de muestras en cada conjunto de muestras y P es la duración de intercalado. El intercalado también puede hacer que el sistema sea más robusto a los fallos de formador de haces de intervalo de tiempo, porque cada bloque de muestras de formador de haces de intervalo de tiempo está separado temporalmente, de modo que los errores debidos a un bloque que falta se distribuirían en el tiempo, de forma similar a la ventaja del intercalado en la corrección de errores directa. De hecho, los errores distribuidos provocados por el fallo de formador de haces de intervalo de tiempo pueden producir efectos similares al ruido y no dar lugar a ningún error en los datos del usuario, especialmente si se emplea una codificación de errores directa. Aunque se han ilustrado ejemplos donde $N=3$, pueden utilizarse otros valores de N , y no es necesario que N tenga una relación particular con K o M .

Como se ha explicado anteriormente, el formador 529 de haces directo y el formador 531 de haces de retorno ilustrados en las Figs. 31 y 33, respectivamente, pueden realizar demultiplexación y multiplexación en el dominio de tiempo para la formación de haces de intervalo de tiempo para un canal o subbanda de frecuencia. Pueden procesarse múltiples subbandas independientemente utilizando una capa de conmutación de mux/demux de subbanda adicional. La Fig. 35 es un diagrama de bloques de un formador 513 de haces directo/de retorno multibanda ilustrativo que emplea demultiplexación y multiplexación de subbanda. El formador 513 de haces directo/de retorno multibanda puede soportar F subbandas directas y R subbandas de retorno.

El formador 513 de haces directo/de retorno multibanda incluye F formadores 3026 de haces de subbanda directos, R formadores 3036 de haz de subbanda de retorno y un multiplexor/demultiplexor 3030 de subbanda. Por ejemplo, las señales 511 de haz directo pueden dividirse en F subbandas directas. Cada una de las F subbandas directas puede estar asociada a un subconjunto de las K áreas de cobertura de haz directas. Es decir, las K áreas de cobertura de haz de usuario directo pueden incluir múltiples subconjuntos de áreas de cobertura de haz de usuario directo asociadas a distintas subbandas de frecuencia (*p. ej.*, diferente frecuencia y/o polarización, *etc.*), donde las áreas de cobertura de haz de usuario directo dentro de cada uno de los subconjuntos pueden ser no solapantes (*p. ej.*, en contornos de señal de 3 dB, *etc.*). Por lo tanto, cada una de las entradas 3024 de formador de haces de subbanda directo puede incluir un subconjunto K_1 de las señales 511 de haz directo. Cada uno de los F formadores 3026 de haces directos puede incluir la funcionalidad del formador 529 de haces directo, generando salidas 3028 de formador de haces de subbanda directo que comprenden las M señales directas específicas de nodo de acceso asociadas al subconjunto de las señales 511 de haz directo (*p. ej.*, un producto de matriz de las K_1 señales de haz directo con una matriz de ponderación de haz directo $M \times K_1$). Por lo tanto, cada uno de los AN 515 puede recibir múltiples señales directas específicas de nodo de acceso asociadas con distintas subbandas de frecuencia (*p. ej.*, para cada una de las F subbandas directas). Los AN pueden combinar (*p. ej.*, sumar) las señales en distintas subbandas en las señales de enlace ascendente directo, como se explica con más detalle a continuación. De forma similar, los AN 515 pueden generar múltiples señales 907 de retorno compuestas para R distintas subbandas de retorno. Cada una de las R subbandas de retorno pueden estar asociadas a un subconjunto de las K áreas de cobertura de haz de usuario de retorno. Es decir, las áreas de cobertura de haz de usuario de retorno de K de la pluralidad K pueden incluir múltiples subconjuntos de áreas de cobertura de haz de usuario de retorno dentro de cada uno de los subconjuntos pueden no solapar (*p. ej.*, en contornos de señal de 3 dB, *etc.*). El multiplexor/demultiplexor 3030 de subbanda puede dividir las señales 907 de retorno compuestas en las R entradas 3034 de formador de haces de subbanda. Cada uno de los formadores 3036 de haces de subbanda de retorno puede generar, a continuación, una salida 3038 de formador de haces de subbanda de retorno, que puede incluir las señales 915 de haz de retorno para un subconjunto de los haces de usuario de retorno (*p. ej.*, a los módems 507 de enlace alimentador o demodulador de la señal de haz de retorno, *etc.*). En algunos ejemplos, el formador 513 de haces directo/de retorno multibanda puede soportar múltiples polarizaciones (*p. ej.*, polarización circular hacia la derecha (RHCP), polarización circular hacia la izquierda (LHCP), *etc.*), que, en algunos casos, puede doblar de forma efectiva el número de subbandas.

En algunos casos, la multiplexación y la demultiplexación de intervalo de tiempo para el formador 529 de haces directo y el formador 531 de haces de retorno (*p. ej.*, el demultiplexor 3002 de señal de haz, el multiplexor 3010 de señal de nodo de acceso directo, el multiplexor 3012 de señal compuesta de retorno, el multiplexor 3020 de señal de haz de retorno) y la multiplexación/demultiplexación de la subbanda (multiplexor/demultiplexor 3030 de la subbanda) pueden hacerse mediante conmutación de paquetes (*p. ej.*, conmutación de Ethernet, etc.). En algunos casos, la conmutación de intervalo de tiempo y de subbanda puede realizarse en los mismos nodos de conmutación o en un orden distinto. Por ejemplo, puede utilizarse una arquitectura de conmutación de estructura donde cada nodo de estructura del conmutador puede acoplarse con un subconjunto de los AN 515, formadores 3006 de haces de intervalo de tiempo directos, formadores 3016 de haz de intervalo de tiempo de retorno o módems 507 de enlace alimentador. Una arquitectura de conmutación de tejido puede permitir, por ejemplo, que cualquier AN se conecte (*p. ej.*, a través de conmutadores y/o una interconexión de tejido de conmutador) a cualquier formador de haces de intervalo de tiempo directo o formador de haces de intervalo de tiempo de retorno en una arquitectura jerárquicamente plana y de baja latencia. En un ejemplo, un sistema que soporta $K \leq 600$, $M \leq 600$, y un ancho de banda de 500 MHz (*p. ej.*, por subbanda) con catorce subbandas para los enlaces directo o de retorno puede implementarse mediante una plataforma de conmutador de interconexión disponible comercialmente con 2048 puertos 10GigE.

Ecualización de retardo

En algunos casos, las diferencias en los retardos de propagación en cada una de las rutas entre el retransmisor 503 de extremo a extremo y el CPS 505 son insignificantes. Por ejemplo, en el enlace de retorno, cuando la misma señal (*p. ej.*, datos a, o desde, un usuario particular) es recibida por múltiples AN 515, cada instancia de la señal puede llegar al CPS esencialmente alineada con cada otra instancia de la señal. De forma similar, cuando la misma señal se transmite a un terminal 517 de usuario a través de varios AN 515, cada instancia de la señal puede llegar al terminal 517 de usuario esencialmente alineada con cada otra instancia de la señal. En otras palabras, las señales pueden alinearse en fase y en tiempo con suficiente precisión que las señales se combinarán de forma coherente, de modo que los retardos de ruta y los efectos de formación de haces son pequeños en relación con la tasa de símbolo transmitida. Como ejemplo ilustrativo, si la diferencia en retardos de ruta es de 10 microsegundos, el ancho de banda de formación de haces puede ser del orden de decenas de kHz y uno puede utilizar una señal de ancho de banda estrecho, digamos ≈ 10 ksp/s con una pequeña posible degradación en el rendimiento. La tasa de señalización de 10 ksp/s tiene una duración de símbolo de 100 microsegundos y la propagación de retardo de 10 microsegundos es solo una décima parte de la duración de símbolo. En estos casos, para el análisis de sistema, puede suponerse que las señales recibidas por el retransmisor de extremo a extremo en un instante se retransmitirán y transmitirán esencialmente al mismo tiempo, como se ha descrito anteriormente.

En otros casos, puede haber una diferencia significativa en el retardo de propagación en relación al intervalo de señalización (duración de símbolo transmitida) de las señales transmitidas desde los elementos 409 de antena de transmisión a los AN 515. La ruta que toman las señales de cada AN 515 a través de la red 518 de distribución puede contener variaciones de retardo significativas. En estos casos, puede emplearse la ecualización de retardo para igualar los retardos de ruta.

Para las señales de enlace de retorno de extremo a extremo recibidas a través de la red 518 de distribución por el CPS 505, las señales pueden alinearse temporalmente utilizando una señal de baliza de retransmisor transmitida desde el retransmisor de extremo a extremo, por ejemplo, una baliza PN como se ha descrito anteriormente. Cada AN 515 puede indicar en tiempo la señal de retorno compuesta utilizando la señal de baliza de retransmisor como referencia. Por lo tanto, distintos AN 515 pueden recibir la misma señal en distintos momentos, pero las señales recibidas en cada AN 515 pueden tener una indicación de tiempo para permitir que el CPS 505 alinee temporalmente las mismas. El CPS 505 puede almacenar en memoria intermedia las señales de modo que la formación de haces se realiza combinando señales que tienen la misma indicación de tiempo.

Volviendo a las Figs. 33 y 34, la ecualización de retardo para el enlace de retorno puede realizarse demultiplexando las señales de retorno compuestas a los formadores 3016 de haz de intervalo de tiempo de retorno. Por ejemplo, cada AN puede dividir la señal de retorno compuesta en conjuntos de muestras asociadas con los índices de intervalo de tiempo t , que pueden incluir muestras intercaladas de la señal de retorno compuesta. Los índices de intervalo de tiempo t pueden determinarse basándose en la señal de baliza de retransmisor. Los AN pueden enviar los subconjuntos de muestras multiplexadas con los correspondientes índices de intervalo de tiempo t (*p. ej.*, como una señal de retorno compuesta multiplexada) al formador 531 de haces de retorno, que pueden servir como información de temporización de sincronización en el enlace de retorno. Los subconjuntos de muestras de cada AN pueden demultiplexarse (*p. ej.*, a través de conmutación) y un formador 3016 de haces de intervalo de tiempo de retorno puede recibir los subconjuntos de muestras de cada AN para un índice de intervalo de tiempo t (para una de múltiples subbandas, en algunos casos). Realizando el producto de matriz de la matriz de ponderación de haz de retorno y los subconjuntos de muestras de cada una de las M señales de retorno compuestas asociadas con el índice de intervalo de tiempo t , el formador 3016 de haces de intervalo de tiempo de retorno puede alinear las señales retransmitidas por el retransmisor de extremo a extremo al mismo tiempo para aplicar la matriz de ponderación de haz de retorno.

Para el enlace directo, el formador 513 de haces dentro del CPS 505 puede generar una indicación de tiempo que indica cuándo se desea que llegue cada señal directa específica de nodo de acceso transmitida por los AN 515 al retransmisor

503 de extremo a extremo. Cada AN 515 puede transmitir una señal 2530 de baliza de nodo de acceso, por ejemplo, una señal PN de bucle de retorno. Cada señal de este tipo puede retornarse y transmitirse de vuelta a los AN 515 por el retransmisor 503 de extremo a extremo. Los AN 515 pueden recibir tanto la señal de baliza de retransmisor como las señales de baliza de nodo de acceso retransmitidas (retornadas) desde cualquier, o todos los, AN. La temporización recibida de la señal de baliza de nodo de acceso en relación con la temporización de recepción de la señal de baliza de retransmisor indica cuándo llega la señal de baliza de nodo de acceso al retransmisor de extremo a extremo. Ajustar la temporización de la señal de baliza de nodo de acceso de modo que, después de la retransmisión por el retransmisor de extremo a extremo, llegue al AN al mismo tiempo que la señal de baliza de retransmisor llega al AN, obliga a que la señal de baliza de nodo de acceso llegue al retransmisor de extremo a extremo sincronizada con la baliza de retransmisor. Tener todos los AN que realizan esta función permite que todas las señales de baliza de nodo de acceso lleguen al retransmisor de extremo a extremo sincronizado con la baliza de retransmisor. La etapa final en el proceso es hacer que cada AN transmita sus señales directas específicas de nodo de acceso sincronizadas con su señal de baliza de nodo de acceso. Esto puede hacerse utilizando indicaciones de tiempo como se describe posteriormente. De forma alternativa, el CPS puede gestionar la ecualización de retardo enviando las respectivas señales directas específicas de nodo de acceso desplazadas por los respectivos desplazamientos de dominio de tiempo a los AN (*p. ej.*, donde la sincronización a través de la red de distribución es determinística). En algunos casos, el intervalo de frecuencias de enlace alimentador puede ser distinto del intervalo de frecuencias de enlace de usuario. Cuando el intervalo de frecuencias de enlace descendente de enlace alimentador (*p. ej.*, un intervalo de frecuencias en la banda V) no solapa con el intervalo de frecuencias de enlace descendente de enlace de usuario (*p. ej.*, un intervalo de frecuencias en la banda K), y los AN están dentro del área de cobertura de usuario, los AN pueden incluir antenas y receptores que funcionen en el intervalo de frecuencias de enlace descendente de enlace de usuario para recibir las señales de baliza de nodo de acceso retransmitidas a través de las rutas de señal de recepción/transmisión del retransmisor de extremo a extremo. En tal caso, el retransmisor de extremo a extremo puede incluir un primer generador de baliza de retransmisor que genera una primera señal de baliza de retransmisor en el intervalo de frecuencias de enlace descendente de enlace de usuario para soportar la sincronización de enlace alimentador. El retransmisor de extremo a extremo también puede incluir un segundo generador de baliza de retransmisor que genera una segunda señal de baliza de retransmisor en el intervalo de frecuencias de enlace descendente de enlace alimentador para soportar la eliminación de degradaciones de enlace alimentador de las señales de enlace descendente de retorno.

La Fig. 36 es una ilustración de secuencias PN utilizadas para alinear la temporización del sistema. El eje horizontal de la figura representa el tiempo. En la señal de baliza de nodo de acceso se transmite una secuencia 2301 PN de AN₁ de los chips 2303 desde el primer AN. El tiempo de llegada relativo de esta secuencia en el retransmisor de extremo a extremo se representa mediante la secuencia 2305 PN. Existe un desplazamiento de tiempo de la secuencia 2305 PN con respecto a una secuencia 2301 PN de AN₁, debido al retardo de propagación del AN al retransmisor de extremo a extremo. Una secuencia 2307 de baliza PN de retransmisor se genera dentro, y se transmite desde, el retransmisor de extremo a extremo en una señal de baliza de retransmisor. Un chip de PN de la secuencia 2307 de baliza PN de retransmisor en el tiempo T₀ 2135 se alinea con un chip 2316 de PN de la señal 2305 recibida PN de AN₁ en el tiempo T₀. El chip 2316 de PN de la señal 2305 recibida PN de AN₁ se alinea con el chip 2315 de PN de la baliza 2307 PN de retransmisor cuando la temporización de transmisión de AN₁ se ajusta en la cantidad adecuada. La secuencia 2305 PN se retorna desde el retransmisor de extremo a extremo y la secuencia 2317 PN se recibe en AN₁. Una secuencia 2319 PN transmitida desde el retransmisor de extremo a extremo en la baliza PN de retransmisor se recibe AN₁. Obsérvese que las secuencias 2317, 2319 PN están alineadas en AN₁, indicando que se alinearon en el retransmisor de extremo a extremo.

La Fig. 37 muestra un ejemplo de un AN₂ que no ha ajustado correctamente la temporización de la secuencia PN generada en el AN₂. Obsérvese que la secuencia 2311 PN generada por el AN₂ se recibe en el retransmisor de extremo a extremo mostrada como la secuencia 2309 con un desplazamiento por una cantidad dt desde la secuencia 2307 PN de baliza PN de retransmisor. Este desplazamiento se debe a un error de la temporización utilizada para generar la secuencia en la AN₂. Además, obsérvese que la llegada de la secuencia 2321 PN de AN₂ en AN₂ está desplazada respecto a la llegada de la secuencia PN de baliza PN de retransmisor en el AN₂ 2323 en la misma cantidad dt . El procesamiento de señales en AN₂ detectará este error y puede hacer una corrección a la temporización de transmisión ajustando la temporización en una cantidad dt para alinear las secuencias 2321, 2323 PN.

En las Figs. 36 y 37 se ha utilizado la misma tasa de chips de PN para la baliza PN de retransmisor y todas las señales PN (retornadas) de AN para facilitar la ilustración del concepto. Los mismos conceptos de temporización pueden aplicarse con distintas tasas de chips de PN. Volviendo a las Figs. 31 y 32, los índices de intervalo de tiempo t pueden utilizarse para sincronizar las señales directas específicas de nodo de acceso recibidas desde cada uno de los AN en el retransmisor de extremo a extremo. Por ejemplo, los índices de intervalo de tiempo t pueden multiplexarse con las señales 516 directas específicas de nodo de acceso. Cada AN puede transmitir muestras de las señales directas específicas de nodo de acceso con un índice de intervalo de tiempo t particular alineado con la correspondiente información de temporización en la secuencia PN de chips transmitidos en las respectivas señales de baliza de nodo de acceso. Debido a que las señales de baliza de nodo de acceso respectivas se han ajustado para compensar los retardos de ruta y los desplazamientos de fase respectivos entre los AN y el retransmisor de extremo a extremo, las muestras asociadas con el índice de intervalo de tiempo t llegarán al retransmisor de extremo a extremo con temporización sincronizada y alineada en fase correctamente entre sí.

En los casos donde los AN reciben sus propias señales de baliza de nodo de acceso, es posible retornar las señales de baliza de nodo de acceso utilizando el mismo hardware de comunicación de retransmisor de extremo a extremo que también está portando los datos de comunicación de dirección directos. En estos casos, las ganancias relativas y/o fases de los transpondedores en el retransmisor de extremo a extremo pueden ajustarse como se describe posteriormente.

La Fig. 38 es un diagrama de bloques de un AN 515 ilustrativo. El AN 515 comprende el receptor 4002, el ajustador 4024 de temporización y fase de recepción, el demodulador 2511 de señal de baliza de retransmisor, el multiplexor 4004, la interfaz 4006 de red, el controlador 2523, el demultiplexor 4060, el compensador 4020 de temporización y fase de transmisión y el transmisor 4012. La interfaz 4006 de red puede conectarse, por ejemplo, al CPS 505 a través del puerto 4008 de red.

En el enlace de retorno, el receptor 4002 recibe una señal 527 de enlace descendente de retorno. La señal 527 de enlace descendente de retorno puede incluir, por ejemplo, un compuesto de señales de enlace ascendente de retorno retransmitidas por el retransmisor de extremo a extremo (*p. ej.*, a través de múltiples rutas de señal de recepción/transmisión, etc.) y la señal de baliza de retransmisor. El receptor 4002 puede realizar, por ejemplo, conversión descendente y muestreo. El demodulador 2511 de señal de baliza de retransmisor puede demodular la señal de baliza de retransmisor en la señal 907 de retorno compuesta digitalizada para obtener la información 2520 de temporización de retransmisión. Por ejemplo, el demodulador 2511 de señal de baliza de retransmisor puede realizar una demodulación para recuperar la temporización de chip asociada al código PN de retransmisión y generar indicaciones de tiempo que corresponden al tiempo de transmisión desde el retransmisor de extremo a extremo para muestras de la señal 527 de retorno compuesta digitalizada. El multiplexor 4004 puede multiplexar la información 2520 de temporización de retransmisión con las muestras de la señal de retorno compuesta digitalizada (*p. ej.*, para formar una señal de retorno compuesta multiplexada) a enviar al CPS 505 (*p. ej.*, a través de la interfaz 4006 de red). La multiplexación de la información 2520 de temporización de retransmisión puede incluir la generación de subconjuntos de correspondientes muestras a los índices de intervalo de tiempo t para su envío al CPS 505. Por ejemplo, el multiplexor 4004 puede emitir subconjuntos de muestras asociadas con cada índice de intervalo de tiempo t para su entrada a la arquitectura de formación de haces de intervalo de tiempo de retorno descrita anteriormente con referencia a las Figs. 33, 34 y 35. El multiplexor 4004 puede incluir un intercalador 4044 para intercalar muestras para cada subconjunto de muestras, en algunos casos.

En el enlace directo, la interfaz 4006 de red puede obtener la señal 4014 de entrada de AN (*p. ej.*, a través del puerto 4008 de red). El multiplexor 4060 puede demultiplexar la señal 4014 de entrada de AN para obtener la señal 516 directa específica de nodo de acceso y la información 4016 de temporización de transmisión de señal directa que indican la temporización de transmisión para la señal 516 directa específica de nodo de acceso. Por ejemplo, la señal 516 directa específica de nodo de acceso puede comprender la información de temporización de transmisión de la señal directa (*p. ej.*, multiplexada con muestras de datos, etc.). En un ejemplo, la señal 516 directa específica de nodo de acceso comprende conjuntos de muestras (*p. ej.*, en paquetes de datos), donde cada conjunto de muestras está asociado a un índice de intervalo de tiempo t . Por ejemplo, cada conjunto de muestras pueden ser muestras de la señal 516 directa específica de nodo de acceso generada según la arquitectura de formación de haces de intervalo de tiempo directo descrita anteriormente con referencia a las Figs. 31, 32 y 35. El multiplexor 4060 puede incluir un desintercalador 4050 para desintercalar muestras asociadas con los índices de intervalo de tiempo t .

El compensador 4020 de temporización y fase de transmisión puede recibir y almacenar en memoria intermedia la señal 516 directa específica de nodo de acceso y emitir muestras 4022 de señal de enlace ascendente directo para su transmisión por el transmisor 4012 en un momento apropiado como señal 521 de enlace ascendente directo. El transmisor 4012 puede realizar la conversión de digital a analógico y la conversión ascendente para emitir la señal 521 de enlace ascendente directo. Las muestras 4022 de señal de enlace ascendente directo pueden incluir la señal 516 directa específica de nodo de acceso y una señal 2530 de baliza de nodo de acceso (*p. ej.*, la señal PN de bucle de retorno), que puede incluir información de temporización de transmisión (*p. ej.*, información de temporización de chip de código PN, información de temporización de trama, etc.). El compensador 4020 de temporización y fase de transmisión puede multiplexar la señal 516 directa específica de nodo de acceso con la señal 2530 de baliza de nodo de acceso de modo que la información 4016 de temporización y fase de transmisión de señal directa se sincronice con la información de temporización y fase de transmisión correspondientes en la señal 2530 de baliza de nodo de acceso.

En algunos ejemplos, la generación de la señal 2530 de baliza de nodo de acceso se realiza localmente en el AN 515 (*p. ej.*, en el generador 2529 de señal de baliza de nodo de acceso). De forma alternativa, la generación de la señal 2530 de baliza del nodo de acceso puede realizarse en un componente separado (*p. ej.*, el CPS 505) y enviarse al AN 515 (*p. ej.*, a través de la interfaz 4006 de red). Como se ha explicado anteriormente, la señal 2530 de baliza de nodo de acceso puede utilizarse para compensar la señal 521 de enlace ascendente directo para diferencias de ruta y desplazamientos de fase entre el AN y el retransmisor de extremo a extremo. Por ejemplo, la señal 2530 de baliza de nodo de acceso puede transmitirse en la señal 521 de enlace ascendente directo y retransmitirse por el retransmisor de extremo a extremo ascendente directo y retransmitirse para recibirse de vuelta en el receptor 4002. El controlador 2523 puede comparar la información 4026 de temporización y fase de transmisión retransmitida obtenida (*p. ej.*, mediante demodulación, etc.) de la señal de baliza de nodo

de acceso retransmitida con la información 4028 de temporización y fase de recepción obtenida (*p. ej.*, mediante demodulación, *etc.*) de la señal de baliza de retransmisor. El controlador 2523 puede generar un ajuste 2524 de temporización y fase para su entrada al compensador 4020 de temporización y fase de transmisión para ajustar la señal 2530 de baliza de nodo de acceso para compensar el retardo de ruta y los desplazamientos de fase. Por ejemplo, la señal 2530 de baliza de nodo de acceso puede incluir un código de PN e información de temporización de trama (*p. ej.*, uno o más bits de un número de trama, *etc.*). El compensador 4020 de temporización y fase de transmisión puede, por ejemplo, ajustar la información de temporización de trama para una compensación aproximada del retardo de ruta (*p. ej.*, emitir información de temporización de trama en la señal de baliza del nodo de acceso de modo que la señal de baliza del nodo de acceso retransmitida tendrá la información de temporización de la trama de transmisión retransmitida alineada de forma aproximada con la correspondiente información de temporización de la trama en la señal de la baliza de retransmisor, cambiando qué chip del código PN se considera ser el LSB, *etc.*). De forma alternativa o adicional, el compensador 4020 de temporización y fase de transmisión puede realizar ajustes de fase y temporización a las muestras 4022 de señal de enlace ascendente directo para compensar las diferencias de temporización o fase entre la información 4026 de temporización y de fase de transmisión retransmitida y la información 4028 de temporización y fase de recepción. Por ejemplo, donde la señal 2530 de baliza de nodo de acceso se genera basándose en un oscilador local, las diferencias de temporización o de fase entre el oscilador local y la señal de baliza de retransmisor recibida pueden corregirse mediante ajustes de fase y temporización a las muestras 4022 de señal de enlace ascendente directo. En algunos ejemplos, la demodulación de la señal de baliza de nodo de acceso se realiza localmente en el AN 515 (*p. ej.*, en el demodulador 2519 de la señal de baliza de nodo de acceso). De forma alternativa, la demodulación de la señal de baliza de nodo de acceso puede realizarse en un componente separado (*p. ej.*, el CPS 505) y la información 4026 de temporización y fase de transmisión retransmitida puede obtenerse en otra señalización (*p. ej.*, a través de la interfaz 4006 de red). Por ejemplo, el desvanecimiento profundo puede hacer difícil la recepción y la demodulación de la propia señal de baliza de nodo de acceso retransmitida del AN sin una transmisión a mayor potencia que otra señalización, lo que puede reducir el balance de potencia para las señales de comunicación. Por lo tanto, combinar la recepción de la señal de baliza de nodo de acceso retransmitida desde múltiples AN 515 puede aumentar la potencia recibida efectiva y la precisión de demodulación para la señal de baliza del nodo de acceso retransmitida. Por lo tanto, la demodulación de la señal de baliza de nodo de acceso de un único AN 515 puede realizarse utilizando señales de enlace descendente recibidas en múltiples AN 515. La demodulación de la señal de baliza de nodo de acceso puede realizarse en el CPS 505 basándose en las señales 907 de retorno compuestas, que también pueden incluir información de señal para las señales de baliza de nodo de acceso desde la mayoría o todos los AN 515. Si se desea, la formación de haces de extremo a extremo para las señales de baliza de nodo de acceso puede hacerse teniendo en cuenta los enlaces ascendentes de baliza de nodo de acceso (*p. ej.*, C_r), el bucle de retorno de retransmisor (*p. ej.*, E) y/o enlaces descendentes de baliza de nodo de acceso (*p. ej.*, C_t).

Eliminación de degradación de enlace alimentador

Además de la ecualización de retardo de las rutas de señal al retransmisor de extremo a extremo de todos los AN, los desplazamientos de fase inducidos por enlaces alimentadores pueden eliminarse antes de la formación de haces. El desplazamiento de fase de cada uno de los enlaces entre el retransmisor de extremo a extremo y los M AN será diferente. Las causas de distintos desplazamientos de fase para cada enlace incluyen, aunque no de forma limitativa, la longitud de ruta de propagación, las condiciones atmosféricas tales como centelleo, desplazamiento de frecuencias Doppler y distintos errores de oscilador de AN. Estos desplazamientos de fase son generalmente distintos para cada AN y varían en el tiempo (debido al centelleo, el desplazamiento Doppler y la diferencia en los errores de oscilador de AN). Eliminando las degradaciones dinámicas del enlace alimentador, la tasa a la que se adaptan las ponderaciones de haz puede ser más lenta que una alternativa donde las ponderaciones de haz se adaptan lo suficientemente rápido como para rastrear la dinámica del enlace alimentador.

En la dirección de retorno, las degradaciones de enlace descendente de alimentador a un AN son comunes tanto para la baliza PN de retransmisor como a las señales de datos de usuario (*p. ej.*, señales de enlace descendente de retorno). En algunos casos, la demodulación coherente de la baliza PN de retransmisor proporciona información de canal que se utiliza para eliminar la mayoría o todas estas degradaciones de la señal de datos de retorno. En algunos casos, la señal de baliza PN de retransmisor es una secuencia PN conocida que se transmite continuamente y se sitúa en banda con los datos de comunicaciones. La equivalent isotropically radiated power (potencia irradiada isotrópicamente equivalente (o efectiva) - EIRP) de esta señal PN en banda se establece de modo que la interferencia a los datos de comunicaciones no es mayor que un nivel máximo aceptable. En algunos casos, un proceso de eliminación de degradación de enlace alimentador para el enlace de retorno implica la demodulación coherente y el seguimiento de la temporización y fase recibidas de la señal de baliza PN de retransmisor. Por ejemplo, el demodulador 2511 de señal de baliza de retransmisor puede determinar los ajustes 2512 de temporización y fase de recepción para compensar la degradación de enlace alimentador basándose en la comparación de la señal de baliza PN de retransmisor con una señal de referencia local (*p. ej.*, oscilador local o PLL). Las diferencias de fase y temporización recuperadas se eliminan, a continuación, de la señal de enlace descendente de retorno (*p. ej.*, mediante el ajustador 4024 de temporización y fase de recepción), eliminando por lo tanto las degradaciones de enlace alimentador de la señal de comunicaciones (*p. ej.*, señales 527 de enlace

descendente de retorno). Después de la eliminación de degradaciones de enlace alimentador, las señales de enlace de retorno de un haz tendrán un error de frecuencia común en todos los AN y, por lo tanto, serán adecuados para la formación de haces. El error de frecuencia común puede incluir, aunque no de forma limitativa, contribuciones del error de frecuencia de terminal de usuario, Doppler de enlace ascendente de terminal de usuario, error de frecuencia de traducción de frecuencia de retransmisor de extremo a extremo y error de frecuencia de baliza PN de retransmisor.

En la dirección directa, la señal de baliza de nodo de acceso de cada AN puede utilizarse para ayudar a eliminar las degradaciones de enlace ascendente de alimentador. Las degradaciones de enlace ascendente de alimentador se impondrán a los datos de comunicaciones de enlace directo (*p. ej.*, la señal específica de nodo de acceso), así como a la señal de baliza de nodo de acceso. La demodulación coherente de la señal de baliza de nodo de acceso puede utilizarse para recuperar las diferencias de temporización y fase de la señal de baliza de nodo de acceso (*p. ej.*, en relación con la señal de baliza de retransmisor). Las diferencias de fase y temporización recuperadas se eliminan, a continuación, de la señal de baliza de nodo de acceso transmitida de modo que la señal de baliza de nodo de acceso llega en fase con la señal de baliza de retransmisor.

En algunos casos, el proceso de eliminación de enlace alimentador directo es un phase locked loop (bucle de enganche de fase - PLL) con el retardo de ruta desde el AN hasta el retransmisor de extremo a extremo y de vuelta dentro de la estructura de bucle. En algunos casos, el retardo de ida y vuelta desde el AN hasta el retransmisor de extremo a extremo y de vuelta al AN puede ser significativo. Por ejemplo, un satélite geosíncrono que funciona como retransmisor de extremo a extremo generará un retardo de ida y vuelta de aproximadamente 250 milisegundos (ms). Para mantener este bucle estable en presencia del gran retardo, puede utilizarse un ancho de banda de bucle muy bajo. Para un retardo de 250 ms, el ancho de banda de bucle cerrado de PLL puede ser de forma típica inferior a un Hz. En tales casos, pueden utilizarse osciladores de alta estabilidad tanto en el satélite como en el AN para mantener un enganche de fase fiable, como indica el bloque 2437 en la Fig. 39 (véase a continuación).

En algunos casos, la señal de baliza de nodo de acceso es una señal de ráfaga que solo se transmite durante los intervalos de calibración. Durante el intervalo de calibración, los datos de comunicaciones no se transmiten para eliminar esta interferencia a la señal de baliza de nodo de acceso. Dado que no se transmiten datos de comunicaciones durante el intervalo de calibración, la potencia transmitida de la señal de baliza de nodo de acceso puede ser grande, en comparación con lo que se requeriría si se difundiera durante los datos de comunicación. Esto se debe a que no hay preocupación de provocar interferencia con los datos de comunicación (los datos de comunicación no están presentes en este momento). Esta técnica permite una signal-to-noise ratio (relación señal a ruido - SNR) fuerte para la señal de baliza de nodo de acceso cuando se transmite durante el intervalo de calibración. La frecuencia de ocurrencia de los intervalos de calibración es la inversa del tiempo transcurrido entre los intervalos de calibración. Dado que cada intervalo de calibración proporciona una muestra de la fase al PLL, esta frecuencia de calibración es la tasa de muestreo de este PLL de tiempo discreto. En algunos casos, la tasa de muestra es lo suficientemente alta para soportar el ancho de banda de bucle cerrado del PLL con una cantidad insignificante de solapamiento. El producto de la frecuencia de calibración (tasa de muestra de bucle) y el intervalo de calibración representa la fracción de tiempo en el que el retransmisor de extremo a extremo no puede utilizarse para datos de comunicaciones sin interferencia adicional procedente de la señal de sonda de sondeo de canal. En algunos casos, se utilizan valores inferiores a 0,1 y, en algunos casos, se utilizan valores inferiores a 0,01.

La Fig. 39 es un diagrama de bloques de un transceptor 2409 de AN ilustrativo. La entrada 2408 al transceptor 2409 de AN recibe las señales de enlace de retorno de extremo a extremo recibidas por el AN 515 (*p. ej.*, para una de una pluralidad de subbandas de frecuencia). La entrada 2408 se acopla a la entrada 2501 de un convertidor 2503 descendente (D/C). La salida del D/C 2503 se acopla a un convertidor 2509 de analógico a digital (A/D). La salida del A/D 2509 se acopla a un ajustador 2515 de tiempo de Rx y/o a un ajustador 2517 de fase de Rx. El ajustador 2515 de tiempo de Rx y el ajustador 2517 de fase de Rx pueden ilustrar aspectos del ajustador 4024 de temporización y fase de recepción de la Fig. 38. El D/C 2503 es un convertidor descendente en cuadratura. Por lo tanto, el D/C 2503 emite una salida en fase y en cuadratura al A/D 2509. Las señales recibidas pueden incluir señales de comunicaciones (*p. ej.*, un compuesto de señales de enlace ascendente de retorno transmitidas por terminales de usuario), señales de baliza de nodo de acceso (*p. ej.*, transmitidas desde el mismo AN y/u otros AN) y una señal de baliza de retransmisor. Las muestras digitales se acoplan a un demodulador 2511 de señal de baliza de retransmisor. El demodulador 2511 de señal de baliza de retransmisor demodula la señal de baliza de retransmisor. Además, el demodulador 2511 de señal de baliza de retransmisor genera una señal 2513 de control de tiempo y una señal 2514 de control de fase para eliminar las degradaciones de enlace alimentador basándose en la señal de baliza de retransmisor recibida. Tales degradaciones incluyen Doppler, error de frecuencia de AN, efectos de centelleo, cambios de longitud de ruta, etc. Realizando la demodulación coherente de la señal de baliza de retransmisor, puede utilizarse un phase locked loop (bucle de enganche de fase - PLL) para corregir la mayoría o todos estos errores. Corrigiendo los errores en la señal de baliza de retransmisor, también se corrigen los correspondientes errores en las señales de comunicación y las señales de baliza de nodo de acceso en el enlace alimentador (*p. ej.*, dado que tales errores son comunes a la señal de baliza de retransmisor, las señales de baliza de nodo de acceso y las señales de comunicaciones). Después de la eliminación de degradación de enlace alimentador, la señal de comunicación de enlace de retorno de extremo a extremo desde un terminal 517 de usuario

tiene nominalmente el mismo error de frecuencia en cada uno de los MAN 515. Ese error común incluye el error de frecuencia de terminal de usuario, el Doppler de enlace de usuario, el error de traducción de frecuencia de retransmisor de extremo a extremo y el error de frecuencia de señal de baliza de retransmisor.

Las muestras digitales, con las degradaciones de enlace alimentador eliminadas, se acoplan a un multiplexor 2518, que puede ser un ejemplo del multiplexor 4004 de la Fig. 38. El multiplexor 2518 asocia (*p. ej.*, indicaciones de tiempo) las muestras con la información 2520 de temporización de retransmisión del demodulador 2511 de la señal de baliza de retransmisor. La salida del multiplexor 2518 se acopla al puerto 2410 de salida del transceptor 2409 de AN. El puerto 2410 de salida se acopla al multiplexor 2413 y a través de la interfaz 2415 (véase la Fig. 40) al CPS 505. El CPS 505 puede utilizar entonces las indicaciones de tiempo asociadas a las muestras digitales recibidas para alinear las muestras digitales recibidas desde cada uno de los AN 515. De forma alternativa o adicional, la eliminación de degradaciones del enlace alimentador puede realizarse en el CPS 505. Por ejemplo, las muestras digitales de las señales de enlace de retorno de extremo a extremo con la señal de baliza de retransmisor integrada pueden enviarse desde el AN 515 al CPS 505, y el CPS 505 puede utilizar la información de temporización de sincronización (*p. ej.*, la señal de baliza de retransmisor integrada) en cada una de las señales de retorno compuestas para determinar los ajustes respectivos para las señales de retorno compuestas respectivas para compensar el deterioro del canal de enlace descendente.

Puede generarse localmente una señal 2530 de baliza de nodo de acceso mediante un generador 2529 de señal de baliza de nodo de acceso. Un demodulador 2519 de señal de baliza de nodo de acceso demodula la señal de baliza de nodo de acceso recibida por el AN 515 (*p. ej.*, después de ser retransmitida por el retransmisor de extremo a extremo y recibida en la entrada 2408). El demodulador 2511 de señal de baliza de retransmisor proporciona una señal 2521 de información de temporización y fase de retransmisión recibida a un controlador 2523. El controlador 2523 también recibe una señal 2525 de información de temporización y fase de transmisión retransmitida desde el demodulador 2519 de señal de baliza de nodo de acceso. El controlador 2523 compara la información de temporización y fase de retransmisión recibida con la información de temporización y fase de transmisión retransmitida y genera una señal 2527 de ajuste de tiempo aproximada. La señal 2527 de ajuste de tiempo aproximada se acopla al generador 2529 de señal de baliza de nodo de acceso. El generador 2529 de señal de baliza de nodo de acceso genera la señal 2530 de baliza de nodo de acceso con información de temporización de transmisión integrada a transmitir desde el AN 515 hasta el retransmisor 503 de extremo a extremo. Como se observa en el análisis anterior, la diferencia entre la información de temporización y fase de retransmisión (integrada en la señal de baliza de retransmisor) y la información de fase y tiempo de transmisión (integrada en la señal de baliza de nodo de acceso) se utiliza para ajustar la información de temporización y fase de transmisión para sincronizar la información de temporización y fase de transmisión retransmitida con la información de temporización y fase de retransmisión recibida. El tiempo aproximado es ajustado por la señal 2527 al generador 2529 de señal de baliza de nodo de acceso y el tiempo fino es ajustado por la señal 2540 al ajustador 2539 de tiempo de Tx. Con la información 2525 de temporización y fase de transmisión retransmitida desde el demodulador 2519 de señal de baliza de nodo de acceso sincronizada con la información 2521 de temporización y fase de retransmisión recibida, el generador 2529 de señal de baliza de nodo de acceso genera indicaciones 2531 de tiempo que ayudan a la sincronización de la señal 2530 de baliza de nodo de acceso y a la señal de transferencia específica de nodo de acceso desde el CPS 505 que se transmite. Es decir, las muestras de datos del CPS 505 se reciben en el puerto 2423 de entrada junto con las indicaciones 2535 de tiempo que indican cuándo se desea que las muestras de datos asociadas lleguen al retransmisor 503 de extremo a extremo. Un módulo 2537 de suma, alineación y almacenamiento en memoria intermedia almacena en memoria intermedia las muestras de datos acopladas del CPS 505 y las suma con las muestras del generador 2529 de señal de baliza de nodo de acceso basándose en las indicaciones 2535, 2531 de tiempo. Las muestras PN y las muestras de datos de comunicación con tiempos idénticos, como se indica por las indicaciones de tiempo, se suman conjuntamente. En este ejemplo, las múltiples señales de haces ($x_k(n) * b_k$) se suman conjuntamente en el CPS 505 y la señal directa de acceso específica de nodo de acceso que comprende un compuesto de las múltiples señales de haces es enviada al AN por el CPS 505.

Cuando están alineadas correctamente por los AN, las muestras de datos llegan al retransmisor 503 de extremo a extremo en el tiempo deseado (*p. ej.*, al mismo tiempo que llegan las mismas muestras de datos desde otros AN). Un ajustador 2539 de tiempo de transmisión realiza ajustes de tiempo fino basándose en una señal 2540 de salida de controlador de tiempo fino desde el módulo 2523 de controlador de tiempo. Un ajustador 2541 de fase de transmisión realiza ajustes de fase a la señal en respuesta a una señal 2542 de control de fase generada por el demodulador 2519 de señal de baliza de nodo de acceso. El ajustador 2539 de tiempo de transmisión y el ajustador 2541 de fase de transmisión pueden ilustrar, por ejemplo, aspectos del compensador 4020 de temporización y fase de transmisión de la Fig. 38.

La salida del ajustador 2541 de fase de transmisión se acopla a la entrada de un convertidor 2543 de digital a analógico (D/A). La salida analógica en cuadratura del D/A 2543 se acopla a un convertidor 2545 ascendente (U/C) a transmitir por el HPA 2433 (véase la Fig. 40) al retransmisor 503 de extremo a extremo. Una señal 2547 de control de amplitud proporcionada por el demodulador 2519 de señal de baliza de nodo de acceso proporciona realimentación de amplitud al U/C 2545 para compensar elementos tales como desvanecimientos por lluvia de enlace ascendente.

En algunos casos, el código PN utilizado por cada AN para la señal 2530 de baliza de nodo de acceso es distinta de la utilizada por un AN sí y otro no. En algunos casos, cada uno de los códigos PN en las señales de baliza de nodo de acceso es distinto del código PN de retransmisión utilizado en la señal de baliza de retransmisor. Por lo tanto, cada AN 515 puede ser capaz de distinguir su propia señal de baliza de nodo de acceso de las de los otros AN 515. Los AN 515 pueden distinguir sus propias señales de baliza de nodo de acceso de la señal de baliza de retransmisor.

Como se ha descrito anteriormente, la ganancia de extremo a extremo de cualquier punto en el área de cobertura a cualquier otro punto en el área es un canal de ruta múltiple con L rutas distintos que pueden dar lugar a desvanecimientos muy profundos para algunos canales de punto a punto. La diversidad de transmisión (enlace directo) y la diversidad de recepción (enlace de retorno) son muy efectivas para mitigar los desvanecimientos profundos y permitir que el sistema de comunicaciones funcione. Sin embargo, para las señales de baliza de nodo de acceso, la diversidad de transmisión y recepción no está presente. Como resultado de ello, el enlace punto a punto de una señal de bucle de retorno, que es la transmisión de la señal desde una AN de vuelta a la misma AN, puede experimentar ganancias de extremo a extremo que son mucho más bajas que el promedio. Pueden producirse valores de 20 dB por debajo del promedio con un gran número de rutas de señal de recepción/transmisión (L). Estas pocas ganancias de extremo a extremo bajas dan lugar a una SNR más baja para esos AN y pueden hacer que el cierre de enlace sea difícil. Por lo tanto, en algunos casos, en los AN se utilizan antenas de ganancia más alta. De forma alternativa, haciendo referencia al transpondedor ilustrativo de la Fig. 16, en cada una de las rutas de señal de recepción/transmisión puede incluirse un ajustador 418 de fase. El ajustador 418 de fase puede estar ajustado individualmente por el controlador 427 de desplazamiento de fase (por ejemplo, bajo el control de un enlace de telemetry, tracking, and command (telemetría, seguimiento y comando - TT&C) de un centro de control terrestre). El ajuste de las fases relativas puede ser eficaz para aumentar las ganancias de extremo a extremo de las rutas de bucle de retorno de baja ganancia. Por ejemplo, un objetivo puede ser elegir los ajustes de desplazamiento de fase para aumentar el valor de la peor ganancia de bucle de retorno (ganancia desde un AN de vuelta a sí mismo). Obsérvese que la selección de fases no cambia en general la distribución de las ganancias cuando se evalúa para todos los puntos en el área de cobertura a todos los demás puntos en el área de cobertura, pero puede aumentar las ganancias de las rutas de bucle de retorno de baja ganancia.

Ahondando en ello, considérese el conjunto de ganancias de cada uno de los M AN 515 para todos los otros AN 515. Existen M^2 ganancias, de las cuales únicamente M de estas son rutas de bucle de retorno. Considérense dos distribuciones de ganancia, la primera es la distribución total de todas las rutas (M^2) que pueden estimarse compilando un histograma de todas las M^2 rutas. Para los AN distribuidos de forma uniforme en toda el área de cobertura, esta distribución puede ser representativa de la distribución de la ganancia de extremo a extremo de cualquier punto a cualquier otro punto en el área de cobertura. La segunda distribución es la distribución de ganancia de bucle de retorno (distribución de bucle de retorno) que puede estimarse compilando un histograma de las M rutas de bucle de retorno. En muchos casos, la selección personalizada de los ajustes de fase de ruta de señal de recepción/transmisión (y opcionalmente los ajustes de ganancia) no proporciona un cambio significativo en la distribución total. Este es especialmente el caso con correlaciones aleatorias o intercaladas de transmisión con elementos de recepción. Sin embargo, en la mayoría de los casos, la distribución de bucle de retorno puede mejorarse con la selección personalizada (al contrario que con valores aleatorios) de los ajustes de fase (y opcionalmente ganancia). Esto se debe a que el conjunto de ganancias de bucle de retorno consiste en M rutas (al contrario que las M^2 rutas totales) y el número de grados de libertad en los ajustes de fase y ganancia es L . A menudo, L se encuentran en el mismo orden que M que permite una mejora significativa en ganancias de bucle de retorno bajas con selección de fase personalizada. Otra forma de ver esto es que la selección de fase personalizada no elimina necesariamente las ganancias de extremo a extremo bajas, sino que mueve las mismas desde el conjunto de ganancias de bucle de retorno (M elementos en el conjunto) hasta el conjunto de ganancias sin bucle de retorno ($M^2 - M$ elementos). Para valores no triviales de M , el conjunto más grande es a menudo mucho mayor que el anterior.

Un AN 515 puede procesar una o más subbandas de frecuencia. La Fig. 40 es un diagrama de bloques de un AN 515 ilustrativo en el que se procesan por separado múltiples subbandas de frecuencia. En el enlace 523 de retorno de extremo a extremo (véase la Fig. 5), el AN 515 recibe las señales 527 de enlace descendente de retorno del retransmisor de extremo a extremo 503 a través de un LNA 2401. Las señales amplificadas se acoplan desde el LNA 2401 a un divisor 2403 de potencia. El divisor 2403 de potencia divide la señal en múltiples señales de salida. Cada señal se emite en uno de los puertos 2405, 2407 de salida del divisor 2403 de potencia. Uno de los puertos 2407 de salida puede proporcionarse como un puerto de prueba. Los otros puertos 2405 se acoplan a una entrada 2408 de uno de múltiples transceptores 2409 de AN correspondientes (solo se muestra uno). Los transceptores 2409 de AN procesan las señales recibidas en las subbandas correspondientes. El transceptor 2409 de AN realiza varias funciones, explicadas en detalle anteriormente. Las salidas 2410 de los transceptores 2409 de AN se acoplan a los puertos 2411 de entrada de un multiplexor 2413 de subbanda. Las salidas se combinan en el multiplexor 2413 de subbanda y se envían a una interfaz 2415 de red de distribución. La interfaz 2415 proporciona una interfaz para los datos desde/al AN 515 a/desde el CPS 505 a través de la red de distribución (véase la Fig. 5). Procesar las subbandas de frecuencia puede ser ventajoso para reducir los requisitos de rendimiento en los componentes de RF utilizados para implementar el retransmisor de extremo a extremo y AN. Por ejemplo, dividiendo 3,5 GHz de ancho de banda (*p. ej.*, como puede utilizarse en un sistema de banda Ka) en siete subbandas, cada subbanda tiene un ancho de solo 500 MHz. Es decir, cada una de las señales directas específicas de nodo de acceso puede incluir múltiples subseñales asociadas con las distintas subbandas (*p. ej.*, asociadas con distintos subconjuntos de las

áreas de cobertura de haz de usuario directo) y los transceptores 2409 de AN pueden convertir ascendentemente las subseñales a distintas frecuencias portadoras. Esta división de ancho de banda puede permitir que se usen componentes de tolerancia más baja dado que las variaciones de amplitud y fase entre distintas subbandas pueden compensarse por ponderaciones de formación de haces separados, calibración, etc. para las distintas subbandas. Por supuesto, otros sistemas pueden utilizar un número distinto de subbandas y/o puertos de prueba. Algunos casos pueden utilizar una sola subbanda y pueden no incluir todos los componentes mostrados en este punto (p. ej., omitiendo el divisor 2403 de potencia y el mux 2413).

En el enlace 501 directo de extremo a extremo, los datos son recibidos del CPS 505 por la interfaz 2415. Los datos recibidos se acoplan a una entrada 2417 de un demultiplexor 2419 de subbanda. El demultiplexor 2419 de subbanda divide los datos en múltiples señales de datos. Las señales de datos se acoplan desde los puertos 2421 de salida del demultiplexor 2419 de subbanda a los puertos 2423 de entrada de los transceptores 2409 de AN. Los puertos 2425 de salida de los transceptores 2409 de AN se acoplan a los puertos 2427 de entrada del módulo 2429 de sumador. El módulo 2429 de sumador suma las señales emitidas desde los siete transceptores 2409 de AN. Un puerto 2431 de salida del módulo 2429 de sumador acopla la salida del módulo 2429 de sumador al puerto 2433 de entrada de un high power amplifier (amplificador 2435 de alta potencia - HPA). La salida del HPA 2435 se acopla a una antena (no mostrada) que transmite las señales emitidas al retransmisor 503 de extremo a extremo. En algunos casos, se acopla un oscilador 2437 ultraestable a los transceptores 2409 de AN para proporcionar una fuente de frecuencia de referencia estable.

Cálculo de ponderación de haz

Volviendo a la Fig. 8, que es una descripción ilustrativa de señales en el enlace de retorno, puede utilizarse un modelo matemático del enlace de retorno de extremo a extremo para describir el enlace como:

$$\begin{aligned} \mathbf{y} &= \mathbf{Bret} \left[\mathbf{Ct} \mathbf{E} (\mathbf{Ar} \mathbf{x} + \mathbf{n}_{ul}) + \mathbf{n}_{dl} \right] \\ &= \mathbf{Bret} \left[\mathbf{Hret} \mathbf{x} + \mathbf{Ct} \mathbf{E} \mathbf{n}_{ul} + \mathbf{n}_{dl} \right] \end{aligned} \quad \text{EC. 1}$$

donde,

$\mathbf{x}$ es el vector de columna $K \times 1$ de la señal transmitida. En algunos casos, la magnitud al cuadrado de cada elemento en $\mathbf{x}$ se define como una unidad (igual potencia de transmisión). En algunos casos, esto puede no ser siempre el caso.

$\mathbf{y}$ es el vector de columna $K \times 1$ de la señal recibida después de la formación de haces.

$\mathbf{Ar}$ es la matriz de radiación de enlace ascendente de retorno $L \times K$. El elemento a_{jk} contiene la ganancia y la fase de la ruta desde una localización de referencia situada en el haz K para el j^{mo} (letra "ele") elemento 406 de antena de recepción en el conjunto de Rx. En algunos casos, los valores de la matriz de radiación de enlace ascendente de retorno se almacenan en el almacenamiento 941 de datos de canal (véase la Fig. 30).

$\mathbf{E}$ es la matriz de carga útil $L \times L$. El elemento e_{ij} define la ganancia y la fase de la señal del j^{mo} elemento 406 de antena en el conjunto de recepción a un i^{mo} elemento 409 de antena en el conjunto de transmisión. En algunos casos, aparte de la diafonía incidental entre las rutas (resultantes del aislamiento finito de la electrónica), la matriz $\mathbf{E}$ es una matriz diagonal. La matriz $\mathbf{E}$ puede normalizarse de modo que la suma de la magnitud al cuadrado de todos los elementos en la matriz es L . En algunos casos, los valores de la matriz de carga útil se almacenan en el almacenamiento 941 de datos de canal (véase la Fig. 29).

$\mathbf{Ct}$ es la matriz de radiación de enlace descendente de retorno $M \times L$. El elemento c_{ml} contiene la ganancia y la fase de la ruta desde el l^{mo} (la letra "ele") elemento de antena en el conjunto Tx a un m^{mo} AN 515 de entre los M AN 515. En algunos casos, los valores de la matriz de radiación de enlace descendente de retorno se almacenan en el almacenamiento 941 de datos de canal (véase la Fig. 29).

$\mathbf{Hret}$ es la matriz de canal de retorno de $M \times K$, que es igual al producto de $\mathbf{Ct} \times \mathbf{E} \times \mathbf{Ar}$.

$\mathbf{n}_{ul}$ es un vector de ruido $L \times 1$ de ruido gaussiano complejo. La covarianza del ruido de enlace ascendente es $\mathbf{E}[\mathbf{n}_{ul} \mathbf{n}_{ul}^H] = 2\sigma_{ul}^2 \mathbf{I}_L$, es la matriz de identidad de $L \times L$. σ_{ul}^2 es una varianza de ruido. σ_{ul}^2 se experimenta en el enlace ascendente, mientras que σ_{dl}^2 se experimenta en el enlace descendente.

$\mathbf{n}_{dl}$ es un vector de ruido $M \times 1$ de ruido gaussiano complejo. La covarianza del ruido de enlace descendente es $E[\mathbf{n}_{dl}\mathbf{n}_{dl}^H] = 2\sigma_{dl}^2 \mathbf{I}_M$ es la matriz de identidad de $M \times M$.

Bret es la matriz de $K \times M$ ponderaciones de haces de enlace de retorno de extremo a extremo.

Los ejemplos se han descrito de forma general anteriormente (p. ej., con referencia a las Figs. 6-11) de una forma que asume ciertas similitudes entre canales de ruta múltiple de extremo a extremo directos y de retorno. Por ejemplo, las matrices de canal directo y de retorno se han descrito anteriormente con referencia de forma general a M , K , E y otros modelos. Sin embargo, tales descripciones pretenden únicamente simplificar la descripción para una mayor claridad, y no pretenden limitar los ejemplos únicamente a casos con configuraciones idénticas en las direcciones directa y de retorno. Por ejemplo, en algunos casos, se utilizan los mismos transpondedores tanto para tráfico directo como de retorno, y por lo tanto la matriz de carga útil $\mathbf{E}$ puede ser la misma para la formación de haces de extremo a extremo directo y de retorno (y los correspondientes cálculos de ponderación de haz). En otros casos se utilizan distintos transpondedores para el tráfico directo y de retorno, y puede utilizarse una matriz de carga útil directa diferente (**Efwd**) y una matriz de carga útil de retorno (**Eret**) para modelizar los canales de ruta múltiple de extremo a extremo correspondientes y para calcular las ponderaciones de haz correspondientes. De forma similar, en algunos casos, los mismos M AN 515 y K terminales 517 de usuario que se consideran parte de los canales de ruta múltiple de extremo a extremo directo y de retorno. En otros casos, M y K pueden referirse a distintos subconjuntos de AN 515 y/o terminales 517 de usuario, y/o a números distintos de AN 515 y/o terminales 517 de usuario, en las direcciones directa y de retorno.

Las ponderaciones de haz pueden calcularse de muchas formas para satisfacer los requisitos del sistema. En algunos casos, se calculan después del despliegue del retransmisor de extremo a extremo. En algunos casos, la matriz de carga útil $\mathbf{E}$ se mide antes del despliegue. En algunos casos, las ponderaciones de haz se calculan con el objetivo de aumentar la señal a interferencia más ruido (SINR) de cada haz y pueden calcularse de la siguiente forma:

$$\mathbf{Bret} = (\mathbf{R}^{-1}\mathbf{H})^H$$

$$\mathbf{R} = 2\sigma_{dl}^2 \mathbf{I}_M + 2\sigma_{ul}^2 \mathbf{C}_t \mathbf{E} \mathbf{E}^H \mathbf{C}_t^H + \mathbf{H} \mathbf{H}^H \quad \text{EC. 2, 3}$$

donde $\mathbf{R}$ es la covarianza de la señal recibida y $(*)^H$ es el operador (hermítico) traspuesto conjugado.

El elemento k, m de la matriz de ponderación de haz de retorno $K \times M$ **Bret** proporciona las ponderaciones para formar el haz al m^{simo} AN 515 desde un terminal de usuario en el k^{simo} haz de usuario. Por lo tanto, en algunos casos, cada una de las ponderaciones de haz de retorno utilizadas para formar haces de usuario de retorno se calcula estimando las ganancias de retorno de extremo a extremo (es decir, los elementos de la matriz de canal **Hret**) para cada uno de los canales de ruta múltiple de extremo a extremo (p. ej., cada uno de los canales de ruta múltiple de retorno de extremo a extremo).

La EC. 2 es verdadera cuando $\mathbf{R}$ es la covarianza de la señal recibida como se proporciona en la EC. 3. Por lo tanto, cuando se conocen todas las matrices de las EC. 1, 2 y 3, las ponderaciones de haz utilizadas para formar haces de extremo a extremo pueden determinarse directamente.

Este conjunto de ponderaciones de haz reduce el error cuadrático medio entre $\mathbf{x}$ e $\mathbf{y}$. También aumenta la relación señal de extremo a extremo a ruido más interferencia (SINR) para cada una de las K señales 525 de enlace de retorno de extremo a extremo (que se originan desde cada uno de los K haces).

El primer término $2\sigma_{dl}^2 \mathbf{I}_M$ en la EC. 3 es la covarianza del ruido de enlace descendente (que no está correlacionada). El segundo término $2\sigma_{ul}^2 \mathbf{C}_t \mathbf{E} \mathbf{E}^H \mathbf{C}_t^H$ en la EC. 3 es la covarianza del ruido de enlace ascendente (que está correlacionada en los AN). El tercer término $\mathbf{H} \mathbf{H}^H$ en la EC. 3 es la covarianza de la señal. Establecer la varianza del ruido de enlace ascendente a cero e ignorar el último término ($\mathbf{H} \mathbf{H}^H$) da lugar a un conjunto de ponderaciones que aumenta la relación señal a ruido de enlace descendente alineando en fase las señales recibidas en cada uno de los M AN 515. Establecer la varianza de ruido de enlace descendente a cero e ignorar el 3^{er} término da como resultado un conjunto de ponderaciones que aumenta la SINR de enlace ascendente. Establecer las varianzas de ruido de enlace ascendente y de enlace descendente a cero da como resultado un receptor de decorrelación que aumenta la relación portadora a interferencia (C/I).

En algunos casos, las ponderaciones de haz se normalizan para hacer que la suma de la magnitud al cuadrado de cualquier fila de **Bret** sume la unidad.

En algunos casos, la solución a la EC. 2 se determina con el conocimiento *a priori* de las matrices de las matrices **A**, **C** y **E**, así como las variaciones de los vectores de ruido **n_{ul}** y **n_{dl}**. El conocimiento de los valores de elementos de las matrices puede obtenerse durante las mediciones hechas durante la fabricación y prueba de componentes relevantes del retransmisor de extremo a extremo. Esto puede funcionar bien para sistemas donde uno no espera que los valores en las matrices cambien significativamente durante el funcionamiento del sistema. Sin embargo, para algunos sistemas, especialmente los que funcionan en bandas de frecuencias más altas, es posible que tales expectativas no estén presentes. En tales casos, las matrices **A**, **C** y **E** pueden estimarse posteriormente al despliegue de un dispositivo (tal como un satélite) en el que se dispone el retransmisor de extremo a extremo.

En algunos casos donde *a priori* no se utiliza información para establecer las ponderaciones, la solución a la EC. 2 puede determinarse estimando los valores de **R** y **H**. En algunos casos, los terminales 517 de usuario designados en el centro de cada área 519 de cobertura de haz de usuario transmiten señales conocidas **x** durante los períodos de calibración. El vector recibido en un AN 515 es:

$$\mathbf{u} = \mathbf{H} \mathbf{x} + \mathbf{C}^t \mathbf{E} \mathbf{n}_{ul} + \mathbf{n}_{dl} \quad \text{EC. 4}$$

En un ejemplo, el CPS 505 estima los valores de **R** y **H** basándose en las siguientes relaciones:

$$\hat{\mathbf{R}} = \sum \mathbf{u} \mathbf{u}^H \quad \text{EC. 5}$$

$$\hat{\mathbf{H}} = [\hat{\mathbf{p}}_1, \hat{\mathbf{p}}_2, \dots, \hat{\mathbf{p}}_K] \quad \text{EC. 6}$$

$$\hat{\mathbf{p}}_K = \sum \mathbf{u} \tilde{\mathbf{x}}_K^* \quad \text{EC. 7}$$

$\hat{\mathbf{R}}$ es una estimación de la matriz de covarianza **R**, $\hat{\mathbf{H}}$ es una estimación de la matriz de canal **H** y $\hat{\mathbf{p}}_k$ es una estimación del vector de correlación, $\tilde{\mathbf{x}}_k^*$ es el conjugado del k^{simo} componente del vector transmitido con el error de frecuencia introducido por la transmisión de enlace ascendente. En algunos casos, no se transmiten datos de comunicación de retorno durante el período de calibración. Es decir, solo las señales de calibración conocidas para los AN se transmiten en el enlace de retorno de extremo a extremo durante el período de calibración para permitir que el valor de $\hat{\mathbf{p}}_k$ se determine a partir del vector recibido **u** utilizando la ecuación anterior. Esto, a su vez, permite que se determine el valor de $\hat{\mathbf{H}}$. Tanto la estimación de matriz de covarianza $\hat{\mathbf{R}}$ como la estimación de matriz de canal $\hat{\mathbf{H}}$ se determinan basándose en las señales recibidas durante el período de calibración.

En algunos casos, el CPS 505 puede estimar la matriz de covarianza $\hat{\mathbf{R}}$ mientras que los datos de comunicación están presentes (*p. ej.*, incluso cuando no se conoce **x**). Esto puede verse a partir del hecho de que $\hat{\mathbf{R}}$ se determina basándose solo en la señal recibida **u**. No obstante, el valor de $\hat{\mathbf{H}}$ se estima basándose en las señales recibidas durante un periodo de calibración durante el que se transmiten solo señales de calibración en el enlace de retorno.

En algunos casos, se realizan las estimaciones tanto de la matriz de canal $\hat{\mathbf{H}}$ como de la matriz de covarianza $\hat{\mathbf{R}}$, mientras que los datos de comunicación se transmiten en el enlace de retorno. En este caso, la matriz de covarianza $\hat{\mathbf{R}}$ se estima como se ha indicado anteriormente. Sin embargo, el valor de **x** se determina demodulando la señal recibida. Una vez que se conoce el valor de **x**, la matriz de canal puede estimarse como se ha indicado anteriormente en la EC. 6 y en la EC. 7.

Los componentes de señal e interferencia de la señal después de la formación de haces están contenidos en el vector **Bret H x**. Las potencias de señal e interferencia para cada uno de los haces están contenidas en la matriz de $K \times K$ **Bret H**. La potencia en el k^{simo} elemento diagonal de **Bret H** es la potencia de señal deseada desde el haz k . La suma de la magnitud al cuadrado de todos los elementos en la fila k excepto el elemento diagonal es la potencia de interferencia en el haz k . Por lo tanto, el C/I para el haz k es:

$$\left(\frac{\mathbf{C}}{\mathbf{I}} \right)_k = \frac{|\mathbf{s}_{kk}|^2}{\sum_{j \neq k} |\mathbf{s}_{kj}|^2} \quad \text{EC. 8}$$

donde s_{kj} son los elementos de **Bret H**. El ruido de enlace ascendente está contenido en el vector **Bret Ct En_{ul}**, que tiene una matriz de covarianza de $K \times K$ de $2\sigma_{ul}^2 \mathbf{Bret Ct E E^H Ct^H Bret^H}$. El k^{simo} elemento diagonal de la matriz de covarianza contiene la potencia de ruido de enlace ascendente en el haz k . La relación señal de enlace ascendente a ruido para el haz k se calcula, a continuación, como:

$$\left(\frac{S}{N_{ul}} \right)_k = \frac{|s_{kk}|^2}{t_{kk}} \quad \text{EC. 9}$$

donde t_{kk} es el k^{simo} elemento diagonal de la matriz de covarianza de enlace ascendente. El ruido de enlace descendente está contenido en el vector **Bret n_{dl}**, que tiene una covarianza de $2\sigma_{dl}^2 \mathbf{I}_K$

en virtud de las ponderaciones de haz normalizadas. Por lo tanto, la relación señal de enlace descendente a ruido es:

$$\left(\frac{S}{N_{dl}} \right)_k = \frac{|s_{kk}|^2}{2\sigma_{dl}^2} \quad \text{EC. 10}$$

La SINR de extremo a extremo es la combinación de la EC. 8-10:

$$\text{SINR}_k = \left[\left(\frac{C}{I} \right)_k^{-1} + \left(\frac{S}{N_{ul}} \right)_k^{-1} + \left(\frac{S}{N_{dl}} \right)_k^{-1} \right]^{-1} \quad \text{EC. 11}$$

Las ecuaciones anteriores describen cómo calcular la SINR de extremo a extremo dada la matriz de carga útil E . La matriz de carga útil puede construirse mediante la elección inteligente de la ganancia y las fases de cada uno de los elementos de E . La ganancia y la fase de los elementos diagonales de E que optimizan alguna métrica de utilidad (que es de forma general una función de las K SINR de haz como se calcula anteriormente) pueden seleccionarse e implementarse estableciendo el desplazador 418 de fase en cada uno de los L transpondedores 411. Las funciones de utilidad candidatas incluyen, aunque no de forma limitativa, la suma de la SINR_k (SINR total), la suma del $\text{Log}(1+\text{SINR}_k)$ (proporcional al caudal total) o la potencia total en la matriz de canal, H . En algunos casos, la mejora en la función de utilidad mediante la personalización de las ganancias y las fases es muy pequeña e insignificante. Esto es a veces el caso cuando se utilizan correlaciones aleatorias o intercaladas de elementos de antena. En algunos casos, la función de utilidad puede mejorarse mediante una cantidad no trivial mediante la selección personalizada de la ganancia y fase de la señal de recepción/transmisión.

Volviendo a la Fig. 9, puede utilizarse un modelo matemático del enlace 501 directo de extremo a extremo para describir el enlace 501 como:

$$\begin{aligned} \mathbf{y} &= \mathbf{A} \mathbf{t} \mathbf{E} \left[\mathbf{C} \mathbf{r} \mathbf{B} \mathbf{fwd} \mathbf{x} + \mathbf{n}_{ul} \right] + \mathbf{n}_{dl} \\ &= \mathbf{H} \mathbf{fwd} \mathbf{B} \mathbf{fwd} \mathbf{x} + \mathbf{A} \mathbf{E} \mathbf{n}_{ul} + \mathbf{n}_{dl} \end{aligned} \quad \text{EC. 12}$$

donde,

$\mathbf{x}$ es el vector de columna $K \times 1$ de la señal transmitida. La magnitud al cuadrado de cada elemento en $\mathbf{x}$ se define para ser la unidad (igual potencia de señal). En algunos casos, puede conseguirse una potencia de transmisión desigual mediante la selección de las ponderaciones de haz directo.

$\mathbf{y}$ es el vector de columna $K \times 1$ de la señal recibida.

C_r es la matriz de radiación de enlace ascendente directo de $L \times M$. El elemento c_{lm} contiene la ganancia y la fase de la ruta 2002 desde el $m^{\text{ésimo}}$ AN 515 hasta el $l^{\text{ésimo}}$ (letra “ele”) elemento de 406 antena de recepción del conjunto de Rx de la antena en el retransmisor 503 de extremo a extremo. En algunos casos, los valores de la matriz de radiación de enlace ascendente directo se almacenan en el almacenamiento 921 de datos de canal (véase la Fig. 29).

E es la matriz de carga útil de $L \times L$. El elemento e_{ij} define la ganancia y la fase de la señal desde el $j^{\text{ésimo}}$ elemento de antena de conjunto de recepción hasta el $i^{\text{ésimo}}$ elemento de antena del conjunto de transmisión. Aparte de la diafonía incidental entre las rutas (resultantes del aislamiento finito de la electrónica), la matriz **E** es una matriz diagonal. En algunos casos, la matriz de entrada **E** se normaliza de modo que la suma de la magnitud al cuadrado de todos los elementos en la matriz es L . En algunos casos, los valores de la matriz de carga útil se almacenan en el almacenamiento 921 de datos de canal (véase la Fig. 29).

A_t es la matriz de radiación directa de enlace descendente directo de $K \times L$. El elemento a_{kl} contiene la ganancia y la fase de la ruta desde el elemento de la antena L (letra “ele”) en el conjunto de Tx del retransmisor 503 de extremo a extremo hasta una localización de referencia en el haz de usuario k . En algunos casos, los valores de la matriz de radiación de enlace descendente directo se almacenan en el almacenamiento 921 de datos de canal (véase la Fig. 29).

H_{fwd} es la matriz de canal directo de $K \times M$, que es igual al producto **A_tE C_r**.

n_{ul} es un vector de ruido $L \times 1$ de ruido gaussiano complejo. La covarianza del ruido de enlace ascendente es:

$$E[\mathbf{n}_{ul} \mathbf{n}_{ul}^H] = 2\sigma_{ul}^2 \mathbf{I}_L,$$

donde $\mathbf{I}_L$ es la matriz de identidad de $L \times L$.

n_{dl} es un vector de ruido $K \times 1$ de ruido gaussiano complejo. La covarianza del ruido de enlace descendente es:

$$E[\mathbf{n}_{dl} \mathbf{n}_{dl}^H] = 2\sigma_{dl}^2 \mathbf{I}_K,$$

donde $\mathbf{I}_K$ es la matriz de identidad de $K \times K$.

B_{fwd} es la matriz de ponderación de haz de $M \times K$ de las ponderaciones de haz directo de extremo a extremo.

Las ponderaciones de haz para el haz de usuario k son los elementos en la columna k de **B_{fwd}**. A diferencia del enlace de retorno, el C/I para el haz k no está determinado por las ponderaciones de haz para el haz k . Las ponderaciones de haz para el haz k determinan la relación señal a ruido (relación señal de enlace ascendente a ruido - SNR) y la SNR del enlace descendente, así como la potencia de portadora (C) en la C/I. Sin embargo, la potencia de interferencia en el haz k es determinada por las ponderaciones de haz para todos los demás haces, excepto por el haz k . En algunos casos, la ponderación del haz para el haz k se selecciona para aumentar la SNR. Tales ponderaciones de haz también aumentan el C/I para el haz k , dado que se aumenta C. Sin embargo, puede generarse interferencia a los otros haces. Por lo tanto, a diferencia del caso del enlace de retorno, las ponderaciones de haz óptimas no se calculan sobre una base de haz por haz (independiente de los otros haces).

En algunos casos, las ponderaciones de haz (incluidas las matrices de radiación y carga útil utilizadas para calcular las mismas) se determinan después del despliegue del retransmisor de extremo a extremo. En algunos casos, la matriz de carga útil **E** se mide antes del despliegue. En algunos casos, puede calcularse un conjunto de ponderaciones de haz utilizando la interferencia creada en los otros haces por el haz k y contando la misma como la interferencia en el haz k . Aunque este enfoque puede no calcular ponderaciones de haz óptimas, puede utilizarse para simplificar el cálculo de ponderaciones. Esto permite que se determine un conjunto de ponderaciones para cada haz independiente de todos los demás haces. Las ponderaciones de haz directo resultantes se calculan, a continuación, de forma similar a las ponderaciones de haz de retorno:

$$\mathbf{B}_{fwd} = \mathbf{H}^H \mathbf{R}^{-1}, \text{ donde,} \quad \text{EC. 13}$$

$$\mathbf{R} = 2\sigma_{dl}^2 \mathbf{I}_K + 2\sigma_{ul}^2 \mathbf{A}_t \mathbf{E} \mathbf{E}^H \mathbf{A}_t^H + \mathbf{H} \mathbf{H}^H \quad \text{EC. 14}$$

El primer término $2\sigma_{\text{dl}}^2 \mathbf{I}_K$ en la EC. 14 es la covarianza del ruido de enlace descendente (no correlacionado). El segundo término $2\sigma_{\text{ul}}^2 \mathbf{A} \mathbf{t} \mathbf{E} \mathbf{E}^H \mathbf{A}^H$ es la covarianza del ruido de enlace ascendente (que está correlacionado en los AN). El tercer término $\mathbf{H} \mathbf{H}^H$ es la covarianza de la señal. Establecer la varianza del ruido de enlace ascendente a cero e ignorar el último término ($\mathbf{H} \mathbf{H}^H$) da como resultado un conjunto de ponderaciones que aumenta la relación señal a ruido de enlace descendente alineando en fase las señales recibidas en los M AN 515. Establecer la varianza de ruido de enlace descendente a cero e ignorar el 3^{er} término da como resultado un conjunto de ponderaciones que aumenta la SNR de enlace ascendente. Establecer las variaciones de ruido tanto de enlace ascendente como de enlace descendente a cero da como resultado un receptor de decorrelación que aumenta la relación C/I. Para el enlace directo, de forma general son dominantes el ruido de enlace descendente y la interferencia. Por lo tanto, estos términos son generalmente útiles en el cálculo de ponderación de haz. En algunos casos, el segundo término en la EC. 14 (ruido de enlace ascendente) es insignificante en comparación con el primer término (ruido de enlace descendente). En tales casos, el segundo término puede ignorarse en los cálculos de covarianza, simplificando además el cálculo al tiempo que se sigue produciendo un conjunto de ponderaciones de haz que aumenta la SINR de extremo a extremo.

Como en el enlace de retorno, las ponderaciones de haz pueden normalizarse. Para las ponderaciones de haz de transmisor con igual potencia asignadas a todas las K señales de enlace directo, cada columna de $\mathbf{B}_{\text{fwd}}$ puede escalarse de modo que la suma de la magnitud al cuadrado de los elementos en cualquier columna sumará la unidad. La compartición de igual potencia proporcionará a cada una de las señales la misma fracción de la potencia total de AN (potencia total de todos los AN asignados a la señal x_k). En algunos casos, para enlaces directos, se implementa un intercambio de potencia desigual entre las señales de enlace directo. Por lo tanto, en algunos casos, algunas señales de haz son más que una parte equitativa de la potencia total de AN. Esto puede utilizarse para ecualizar la SINR en todos los haces o proporcionar a los haces más importantes unas SINR más grandes que a los haces menos importantes. Para crear las ponderaciones de haz para el intercambio de potencia desigual, la matriz de ponderación de haz de igual potencia de $M \times K$, $\mathbf{B}_{\text{fwd}}$, se multiplica posteriormente por una matriz diagonal de $K \times K$, $\mathbf{P}$, por lo tanto la nueva $\mathbf{B}_{\text{fwd}} = \mathbf{B}_{\text{fwd}} \mathbf{P}$. Sea

$$\mathbf{P} = \text{diag}(\sqrt{p_k}),$$

entonces el valor cuadrado del k^{simo} elemento diagonal representa la potencia asignada a la señal de usuario x_k . La matriz de intercambio de potencia $\mathbf{P}$ está normalizada de modo que la suma o el cuadrado de los elementos diagonales es igual a K (los elementos no diagonales son cero).

En algunos casos, la solución a la EC. 13 se determina con un conocimiento *a priori* de las matrices $\mathbf{A} \mathbf{t}$, $\mathbf{C} \mathbf{r}$ y $\mathbf{E}$, así como las varianzas de los vectores de ruido $\mathbf{n}_{\text{ul}}$ y $\mathbf{n}_{\text{dl}}$. En algunos casos, el conocimiento de las matrices puede obtenerse durante las mediciones hechas durante la fabricación y prueba de componentes relevantes del retransmisor de extremo a extremo. Esto puede funcionar bien para sistemas donde no se espera que los valores en las matrices cambien significativamente de lo que se midió durante el funcionamiento del sistema. Sin embargo, para algunos sistemas, especialmente aquellos que funcionan en bandas de frecuencia más altas, este puede no ser el caso.

En algunos casos donde no se utiliza *a priori* una información para establecer las ponderaciones, se pueden estimar los valores $\mathbf{R}$ y $\mathbf{H}$ para el enlace directo para determinar la solución a la EC. 13. En algunos casos, los AN transmiten una sonda de sondeo de canal durante los períodos de calibración. Las sondas de sondeo de canal pueden ser muchos tipos distintos de señales. En un caso, cada AN transmite secuencias PN ortogonales, conocidas y distintas. Las sondas de sondeo de canal pueden corregirse previamente en tiempo, frecuencia y/o fase para eliminar las degradaciones de enlace alimentador (como se explica más adelante). Todos los datos de comunicaciones pueden desactivarse durante el intervalo de calibración para reducir la interferencia a las sondas de sondeo de canal. En algunos casos, las sondas de sondeo de canal pueden ser las mismas señales que las utilizadas para la eliminación de degradaciones de enlace alimentador.

Durante el intervalo de calibración puede designarse un terminal en el centro de cada haz para recibir y procesar las sondas de sondeo de canal. El vector $K \times 1$, $\mathbf{u}$, de las señales recibidas durante el período de calibración es $\mathbf{u} = \mathbf{H} \mathbf{x} + \mathbf{A} \mathbf{t} \mathbf{E} \mathbf{n}_{\text{ul}} + \mathbf{n}_{\text{dl}}$ donde $\mathbf{x}$ es el vector $M \times 1$ de sondas de sondeo de canal transmitidas. En algunos casos, cada terminal designado elimina primero el error de frecuencia incidental (resultante del desplazamiento Doppler y el error del oscilador terminal) y, a continuación, correlaciona la señal resultante con cada una de las M secuencias PN ortogonales y conocidas. Los resultados de estas correlaciones son M números complejos (amplitud y fase) para cada terminal y estos resultados se transmiten de vuelta al CPS a través del enlace de retorno. Los M números complejos calculados por el terminal en el centro del k^{simo} haz pueden utilizarse para formar la k^{simo} fila de la estimación de la matriz de canal, $\hat{\mathbf{H}}$. Utilizando las mediciones de todos los K terminales designados se obtiene una estimación de toda la matriz de canal. En muchos casos es útil combinar la medición de múltiples intervalos de calibración para mejorar la estimación de la matriz de canal. Una vez que se determina la estimación de la matriz de canal, puede determinarse una estimación de la matriz de covarianza, $\hat{\mathbf{R}}$, a partir de la EC. 14 utilizando un valor de 0 para el segundo término. Esto puede ser una estimación muy precisa de la matriz de covarianza si el ruido de enlace ascendente (el segundo término

en la EC. 14) es despreciable con respecto al ruido de enlace descendente (el primer término en la EC. 14). Las ponderaciones de haz de enlace directo pueden calcularse entonces utilizando las estimaciones de la matriz de canal y de la matriz de covarianza en la EC. 13. Por lo tanto, en algunos casos, el cálculo de las ponderaciones de haz comprende estimar las ganancias directas de extremo a extremo (es decir, los valores de los elementos de la matriz de canal **H_{fwd}**) para cada uno de los canales de ruta múltiple directos de extremo a extremo entre un AN 515 y una localización de referencia en un área de cobertura de haz de usuario. En otros casos, el cálculo de las ponderaciones de haz comprende estimar las ganancias directas de extremo a extremo para los $K \times M$ canales de ruta múltiple directos de extremo a extremo desde los M AN 515 hasta las localizaciones de referencia dentro de K áreas de cobertura de haz de usuario.

Los componentes de señal e interferencia de la señal después de la formación de haces están contenidos en el vector **H B_{fwd} x** (producto de **H**, **B_{fwd}**, **x**). Las potencias de señal e interferencia para cada uno de los haces están contenidas en la matriz de la matriz de $K \times K$ **H B_{fwd}**. La potencia en el k^{simo} elemento diagonal de **H B_{fwd}** es la potencia de señal deseada prevista para el haz k . La suma de la magnitud al cuadrado de todos los elementos en la fila k excepto el elemento diagonal es la potencia de interferencia en el haz k . Por lo tanto, el C/I para el haz k es:

$$\left(\frac{C}{I}\right)_k = \frac{|s_{kk}|^2}{\sum_{j \neq k} |s_{kj}|^2} \quad \text{EC. 15}$$

donde s_{kj} son los elementos de **H B_{fwd}**. El ruido de enlace ascendente está contenido en el vector **A_t E n_{ul}**, que tiene una matriz de covarianza $K \times K$ de $2\sigma_{ul}^2 \mathbf{A}_t \mathbf{E} \mathbf{E}^H \mathbf{A}_t^H$. El k^{simo} elemento diagonal de la matriz de covarianza contiene la potencia de ruido de enlace ascendente en el haz k . La relación de señal de enlace ascendente a ruido para el haz k se calcula, a continuación, como:

$$\left(\frac{S}{N_{ul}}\right)_k = \frac{|s_{kk}|^2}{t_{kk}} \quad \text{EC. 16}$$

donde t_{kk} es el k^{simo} elemento diagonal de la matriz de covarianza de enlace ascendente. El ruido de enlace descendente está contenido en el vector **n_{dl}**, que tiene una covarianza de $2\sigma_{dl}^2 \mathbf{I}_K$. Por ello, la relación señal a ruido es:

$$\left(\frac{S}{N_{dl}}\right)_k = \frac{|s_{kk}|^2}{2\sigma_{dl}^2} \quad \text{EC. 17}$$

La SINR de extremo a extremo es la combinación de la EC. 15-EC. 17:

$$SINR_k = \left[\left(\frac{C}{I}\right)_k^{-1} + \left(\frac{S}{N_{ul}}\right)_k^{-1} + \left(\frac{S}{N_{dl}}\right)_k^{-1} \right]^{-1} \quad \text{EC. 18}$$

Las ecuaciones anteriores describen cómo calcular la SINR de extremo a extremo dada la matriz de carga útil **E**. La matriz de carga útil puede construirse mediante una elección inteligente de la ganancia y las fases de cada uno de los elementos de **E**. La ganancia y la fase de los elementos diagonales de **E** que optimizan alguna métrica de utilidad (que es generalmente una función de las K SINR de haz como se calcula anteriormente) pueden seleccionarse e implementarse estableciendo el desplazador 418 de fase en cada uno de los L transpondedores 411. Las funciones de utilidad candidatas incluyen, aunque no de forma limitativa, la suma de la SINR_k (SINR total), la suma del Log(1+SINR_k) (proporcional al caudal total) o la potencia total en la matriz de canal, **H**. En algunos casos, la mejora en la función de utilidad mediante la personalización de las ganancias y las fases es muy pequeña e insignificante. Esto es a veces el caso cuando se utilizan

correlaciones aleatorias o intercaladas de elementos de antena. En algunos casos, la función de utilidad puede mejorarse en una cantidad no trivial mediante la selección personalizada de la ganancia y fase de la señal de recepción/transmisión.

Áreas de cobertura distintas

Algunos ejemplos descritos anteriormente suponen que el retransmisor 503 de extremo a extremo se diseña para dar servicio a una única área de cobertura compartida tanto por los terminales 517 de usuario como por los AN 515. Por ejemplo, algunos casos describen un satélite que tiene un sistema de antena que ilumina un área de cobertura de satélite y tanto los AN 515 como los terminales 517 de usuario están distribuidos geográficamente por todo el área de cobertura de satélite (*p. ej.*, como en la Fig. 27). El número de haces que pueden formarse en el área de cobertura de satélite y los tamaños (áreas de cobertura de haz) de esos haces pueden verse afectados por aspectos del diseño del sistema de antenas, tales como el número y la disposición de elementos de antena, tamaño del reflector, *etc.* Por ejemplo, realizar una capacidad muy grande puede implicar desplegar un gran número (*p. ej.*, cientos) de AN 515 con suficiente separación entre los AN 515 para permitir una formación de haces de extremo a extremo. Por ejemplo, como se ha indicado anteriormente con referencia a la Fig. 28, aumentar el número de AN 515 puede aumentar la capacidad de sistema, aunque con retornos decrecientes a medida que aumenta el número. Cuando un subsistema de antena soporta tanto los terminales 517 de usuario como los AN 515, lograr un despliegue de este tipo con suficiente espacio entre los AN 515 puede forzar una distribución geográfica muy amplia de los AN 515 (*p. ej.*, a través de toda el área de cobertura de satélite, como en la Fig. 27). De forma práctica, lograr una distribución de este tipo puede implicar situar los AN 515 en localizaciones no deseadas, tales como en áreas con un acceso deficiente a una red de alta velocidad (*p. ej.*, una infraestructura de fibra pobre de vuelta al CPS 505), múltiples jurisdicciones legales, en áreas caras y/o muy pobladas, *etc.* Por lo tanto, la situación del AN 515 a menudo implica diversos compromisos.

Algunos ejemplos del retransmisor 503 de extremo a extremo se diseñan con múltiples subsistemas de antena, permitiendo de este modo un servicio separado de dos o más áreas de cobertura distintas desde un único retransmisor 503 de extremo a extremo. Como se describe a continuación, el retransmisor 503 de extremo a extremo puede incluir al menos un primer subsistema de antena que da servicio a un área 3450 de AN, y al menos un segundo subsistema de antena que da servicio a un área 3460 de cobertura de usuario. Debido a que el área 3460 de cobertura de usuario y el área 3450 de AN pueden ser servidos por distintos subsistemas de antena, cada subsistema de antena puede diseñarse para cumplir con distintos parámetros de diseño y cada área de cobertura puede ser al menos parcialmente distinta (*p. ej.*, en geografía, en tamaño y/o densidad del haz, en banda de frecuencia, *etc.*). Por ejemplo, el uso de un enfoque de subsistema de múltiples antenas de este tipo puede permitir que los terminales 517 de usuario distribuidos a través de una o más áreas 3460 geográficas relativamente grandes (*p. ej.*, la totalidad de los Estados Unidos) sean servidas por un gran número de AN 515 distribuidos en una o más áreas geográficas relativamente pequeñas (*p. ej.*, una parte del este de los Estados Unidos). Por ejemplo, el área 3450 de AN puede ser una fracción (*p. ej.*, menos de la mitad, menos de un cuarto, menos de una quinta parte, menos de una décima parte) del área 3460 de cobertura de usuario en área física.

La Fig. 41 es una ilustración de un sistema 3400 de formación de haces de extremo a extremo ilustrativo. El sistema 3400 es un sistema de formación de haces de extremo a extremo que incluye: una pluralidad de AN 515 distribuidos geográficamente; un retransmisor 3403 de extremo a extremo; y una pluralidad de terminales 517 de usuario. El retransmisor 3403 de extremo a extremo puede ser un ejemplo del retransmisor 503 de extremo a extremo descrito en la presente memoria. Los AN 515 se distribuyen geográficamente en un área 3450 de AN, los terminales 517 de usuario se distribuyen geográficamente en un área 3460 de cobertura de usuario. Tanto el área 3450 de AN como el área 3460 de cobertura de usuario están dentro del área de cobertura del hemisferio visible de la Tierra del retransmisor 3403 de extremo a extremo, pero el área 3450 de AN es distinta del área 3460 de cobertura de usuario. En otras palabras, el área 3450 de AN no se extiende conjuntamente con el área 3460 de cobertura de usuario, pero puede solapar al menos parcialmente con el área 3460 de cobertura de usuario. Sin embargo, el área 3450 de AN puede tener un área sustancial (no trivial) (*p. ej.*, más de una décima parte, una cuarta parte, una mitad, *etc.*, del área 3450 de AN) que no solapa con el área 3460 de cobertura de usuario. Por ejemplo, en algunos casos, al menos la mitad del área 3450 de AN no solapa con el área 3460 de cobertura de usuario. En algunos casos, el área 3450 de AN y el área 3460 de cobertura de usuario pueden no solapar en absoluto, como se ha explicado con referencia a la Fig. 45C. Como se ha descrito anteriormente (*p. ej.*, en la Fig. 5), los AN 515 pueden intercambiar señales a través de una red 518 de distribución con un CPS 505 dentro de un segmento 502 terrestre, y el CPS 505 puede conectarse a una fuente de datos.

El retransmisor 3403 de extremo a extremo incluye un subsistema 3410 de antena de enlace alimentador separado y un subsistema 3420 de antena de enlace de usuario. Cada uno del subsistema 3410 de antena de enlace alimentador y el subsistema 3420 de antena de enlace de usuario es capaz de soportar formación de haces de extremo a extremo. Por ejemplo, como se describe a continuación, cada subsistema de antena puede tener su propio conjunto o conjuntos de elementos de antena cooperantes, su propio reflector o reflectores, *etc.* El subsistema 3410 de antena de enlace alimentador puede incluir un conjunto 3415 de elementos 3416 de recepción constituyentes de enlace alimentador cooperantes y una matriz 3415 de elementos 3419 de transmisión constituyente de enlace alimentador cooperantes. El subsistema 3420 de antena de enlace de usuario puede incluir un conjunto 3425 de elementos 3426 de recepción constituyentes de enlace de usuario cooperantes y un conjunto 3425 de elementos 3429 de transmisión constituyentes de enlace de usuario cooperantes. Los elementos constituyentes son "cooperantes" en el sentido de que el conjunto de

dichos elementos constituyentes tiene características que hacen que su respectivo subsistema de antena sea adecuado para su uso en un sistema de formación de haces. Por ejemplo, un elemento 3426 de recepción constituyente de enlace de usuario dado puede recibir un compuesto superpuesto de señales 525 de enlace ascendente de retorno desde múltiples (*p. ej.*, algunas o todas) áreas 519 de cobertura de haz de usuario de una forma que contribuye a la formación de haces de usuario de retorno. Un elemento 3429 de transmisión constituyente de enlace de usuario dado puede transmitir una señal 522 de enlace descendente directo de una forma que se superpone con las transmisiones correspondientes desde otros elementos 3429 de transmisión constituyentes de enlace de usuario para formar algunos o todos los haces de usuario directos. Un elemento 3416 de recepción constituyente de enlace alimentador puede recibir un compuesto superpuesto de señales 521 de enlace ascendente directo desde múltiples (*p. ej.*, todos) AN 515 de una forma que contribuye a la formación de haces de usuario directos (*p. ej.*, introduciendo ruta múltiple en el retransmisor 3403 de extremo a extremo). Un elemento 3419 de transmisión constituyente de enlace alimentador dado puede transmitir una señal 527 de enlace descendente de retorno de forma que se superponga con las transmisiones correspondientes desde otros elementos 3419 de transmisión constituyentes de enlace alimentador para contribuir a la formación de algunos o todos los haces de usuario de retorno (*p. ej.*, permitiendo que los AN 515 reciban señales de retorno compuestas que puedan ser ponderados por haz para formar los haces de usuario de retorno).

El retransmisor 3403 de extremo a extremo ilustrativo incluye una pluralidad de transpondedores 3430 de enlace directo y una pluralidad de transpondedores 3440 de enlace de retorno. Los transpondedores pueden ser cualquier tipo adecuado de ruta de señal de guíaondas acodado entre los subsistemas de antena. Cada transpondedor 3430 de enlace directo acopla uno respectivo de los elementos 3416 de recepción constituyentes de enlace alimentador con uno respectivo de los elementos 3429 de transmisión constituyentes de enlace de usuario. Cada transpondedor 3440 de enlace de retorno acopla uno de los elementos 3426 de recepción constituyentes de enlace de usuario respectivos con uno de los elementos 3419 de transmisión constituyentes de enlace alimentador respectivos. Algunos ejemplos se describen como que tienen una correspondencia uno a uno entre cada elemento 3426 de recepción constituyente de enlace de usuario y un elemento 3419 de transmisión constituyente de enlace alimentador respectivo (o viceversa), o que cada elemento 3426 de recepción constituyente de enlace de usuario se acopla con “uno y solo un” elemento 3419 de transmisión constituyente de enlace alimentador (o viceversa), o similar. En algunos de tales casos, un lado de cada transpondedor se acopla con un único elemento de recepción y el otro lado del transpondedor se acopla con un único elemento de transmisión. En otros de tales casos, uno o ambos lados de un transpondedor pueden acoplarse de forma selectiva (*p. ej.*, mediante un conmutador, divisor, combinador u otros medios, como se describe a continuación) con uno de múltiples elementos. Por ejemplo, el retransmisor 3403 de extremo a extremo puede incluir un subsistema 3410 de antena de enlace alimentador y dos subsistemas 3420 de antena de enlace de usuario; y cada transpondedor puede acoplarse, en un lado, a un único elemento de enlace alimentador, y acoplarse de forma selectiva, en el otro lado, bien a un único elemento de enlace de usuario del primer subsistema 3420 de antena de enlace de usuario o bien a un único elemento de enlace de usuario del segundo subsistema 3420 de antena de enlace de usuario. En tales casos acoplados de forma selectiva, cada lado de cada transpondedor puede considerarse aún en un momento dado (*p. ej.*, para una transacción particular relacionada con la señal) acoplado con “uno y solo un” elemento, o similar.

Para comunicaciones directas, las transmisiones desde los AN 515 pueden ser recibidas (a través de enlaces 521 ascendentes alimentadores) por los elementos 3416 de recepción constituyentes de enlace alimentador, retransmitidos por los transpondedores 3430 de enlace directo a los elementos 3429 de transmisión constituyentes de enlace de usuario, y transmitirse (a través de los enlaces 522 descendentes de usuario) por los elementos 3429 de transmisión constituyentes de enlace de usuario a los terminales 517 de usuario en el área 3460 de cobertura de usuario. Para las comunicaciones de retorno, las transmisiones desde los terminales 517 de usuario pueden ser recibidas (a través de señales 525 de enlace ascendente de usuario) por elementos de recepción constituyentes de enlace de usuario, retransmitidas por los transpondedores 3440 de enlace de retorno a los elementos 3419 de transmisión constituyentes de enlace alimentador, y transmitidas por los elementos 3419 de transmisión constituyentes de enlace alimentador a los AN 515 en el área 3450 de AN (a través de las señales 527 de enlace descendente alimentador). La ruta de señal completa desde un AN 515 hasta un terminal 517 de usuario a través del retransmisor 3403 de extremo a extremo se denomina enlace 501 directo de extremo a extremo; y la ruta de señal completa desde un terminal 517 de usuario hasta un AN 515 a través del retransmisor 3403 de extremo a extremo se denomina enlace 523 de retorno de extremo a extremo. Como se describe en la presente memoria, cada uno del enlace 501 directo de extremo a extremo y del enlace 523 de retorno de extremo a extremo puede incluir múltiples canales de ruta múltiple para comunicaciones directas y de retorno.

En algunos casos, cada uno de la pluralidad de AN 515 distribuidos geográficamente tiene una salida de la señal 521 de enlace ascendente directo con ponderación de haz de extremo a extremo. El retransmisor 3403 de extremo a extremo comprende un conjunto 3415 de elementos 3416 de recepción constituyentes de enlace alimentador cooperantes en comunicación inalámbrica con los AN 515 distribuidos, un conjunto 3425 de elementos 3429 de transmisión constituyentes de enlace de usuario cooperantes en comunicación inalámbrica con la pluralidad de terminales 517 de usuario, y una pluralidad de transpondedores 3430 de enlace directo. Los transpondedores 3430 de enlace directo pueden ser transpondedores de “guíaondas acodado” (o sin procesamiento), de modo que cada transpondedor emite una señal que corresponde a la señal que recibe con poco o ningún procesamiento. Por ejemplo, cada transpondedor 3430 de enlace

directo puede amplificar y/o traducir la frecuencia de su señal recibida, pero puede no realizar un procesamiento más complejo (*p. ej.*, no hay conversión analógica-digital, demodulación y/o modulación, ninguna formación de haces integrada, *etc.*). En algunos casos, cada transpondedor 3430 de enlace directo acepta una entrada en un primer intervalo de frecuencias (*p. ej.*, LHCP de 30 GHz) y salidas en un segundo intervalo de frecuencias (*p. ej.*, RHCP de 20 GHz), y cada transpondedor 3440 de enlace de retorno acepta una entrada en el primer intervalo de frecuencias (*p. ej.*, RHCP de 30 GHz) y salidas en el segundo intervalo de frecuencias (*p. ej.*, LHCP de 20 GHz). Puede utilizarse cualquier combinación adecuada de frecuencia y/o polarización, y el enlace de usuario y el enlace alimentador pueden utilizar los mismos o distintos intervalos de frecuencias. Como se utiliza en la presente memoria, un intervalo de frecuencias se refiere a un conjunto de frecuencias utilizadas para la transmisión/recepción de señal y puede ser un intervalo contiguo o incluir múltiples intervalos no contiguos (*p. ej.*, de modo que un intervalo de frecuencias dado puede contener frecuencias de más de una banda de frecuencia, una banda de frecuencia dada puede contener múltiples intervalos de frecuencias, *etc.*). Cada transpondedor 3430 de enlace directo se acopla entre uno respectivo de los elementos 3416 de recepción constituyentes de enlace alimentador y uno de los elementos 3419 de transmisión constituyentes de enlace de usuario respectivos (*p. ej.*, con una correspondencia uno a uno). Los transpondedores 3430 de enlace directo convierten las superposiciones de una pluralidad de señales 521 de enlace ascendente directo con ponderación de haz recibidas a través de los elementos 3416 de recepción constituyentes de enlace alimentador en las señales 522 de enlace descendente directo. La transmisión de las señales 522 de enlace descendente directo por los elementos 3429 de transmisión constituyentes de enlace de usuario contribuye a formar un haz de usuario directo que da servicio al menos a parte de la pluralidad de terminales 517 de usuario (*p. ej.*, que pueden agruparse en una o más áreas 519 de cobertura de haz de usuario para las transmisiones a través de haces de usuario directos con formación de haz correspondientes). Como se describe en la presente memoria, las señales 521 de enlace ascendente directo pueden ponderarse y sincronizarse por haz de extremo a extremo (*p. ej.*, sincronizarse en fase y, si se desea, sincronizarse en tiempo) antes de la transmisión desde los AN 515, lo que puede permitir la superposición deseada de esas señales 521 en los elementos 3416 de recepción constituyentes de enlace alimentador.

La transmisión de las señales 521 de enlace ascendente directo contribuye a formar el haz de usuario directo en el sentido de que la formación de haces es de extremo a extremo, como se describe en la presente memoria; la formación de haces es un resultado de múltiples etapas, incluyendo calcular y aplicar ponderaciones apropiadas a las señales 521 de enlace ascendente directo antes de la transmisión al retransmisor desde los AN 515, inducir la recepción de ruta múltiple por los múltiples transpondedores 3430 de enlace directo del retransmisor 3403 de extremo a extremo, y transmitir las señales 522 de enlace descendente directo desde múltiples elementos 3429 de transmisión constituyentes de enlace de usuario. Aún, para mayor simplicidad, algunas descripciones pueden referirse al haz directo como formado por la superposición de las señales 522 de enlace descendente directo transmitidas. En algunos casos, cada una de la pluralidad de terminales 517 de usuario está en comunicación inalámbrica con el conjunto 3425 de los elementos 3429 de transmisión constituyentes de enlace de usuario cooperantes para recibir un compuesto (*p. ej.*, superposición) de las señales 522 de enlace descendente directo transmitidas.

En algunos casos, el retransmisor 3403 de extremo a extremo incluye además un conjunto 3425 de elementos 3426 de recepción constituyentes de enlace de usuario en comunicación inalámbrica con los terminales 517 de usuario, un conjunto 3415 de elementos 3419 de transmisión constituyentes de enlace alimentador cooperantes en comunicación inalámbrica con los AN 515 distribuidos, y una pluralidad de transpondedores 3440 de enlace de retorno. Los transpondedores 3440 de enlace de retorno pueden ser similares o idénticos a los transpondedores 3430 de enlace directo (*p. ej.*, transpondedores de guías de onda acodadas), excepto que cada uno se acopla entre uno de los elementos 3426 de recepción constituyentes de enlace de usuario respectivos y uno de los elementos 3419 de transmisión constituyentes de enlace alimentador respectivos. La recepción de señales 525 de enlace ascendente de retorno a través del conjunto de elementos 3426 de recepción constituyente de enlace de usuario cooperante permite la formación de señales 527 de enlace descendente de retorno en los transpondedores 3440 de enlace de retorno. En algunos casos, cada señal 527 de enlace descendente de retorno es una superposición respectiva de señales 525 de enlace ascendente de retorno recibidas por un elemento 3426 de recepción constituyente de enlace de usuario desde múltiples terminales 517 de usuario (*p. ej.*, desde una o más áreas 519 de cobertura de haz de usuario). En algunos de tales casos, cada uno de la pluralidad de terminales 517 de usuario está en comunicación inalámbrica con el conjunto de elementos 3426 de recepción constituyentes de enlace de usuario para transmitir una respectiva señal 525 de enlace ascendente de retorno a múltiples de los elementos 3426 de recepción constituyentes de enlace de usuario.

En algunos casos, las señales 527 de enlace descendente de retorno se transmiten mediante los elementos 3419 de transmisión constituyentes de enlace alimentador a los AN 515 distribuidos geográficamente. Como se describe en la presente memoria, cada AN 515 puede recibir un compuesto superpuesto de las señales 527 de enlace descendente de retorno transmitidas desde los elementos 3419 de transmisión constituyentes de enlace alimentador. El compuesto superpuesto puede ser un ejemplo de superposición 1706 descrito con referencia a la Fig. 6. Las señales 527 de enlace descendente de retorno recibidas (que pueden denominarse señales de retorno compuestas) pueden acoplarse a un formador 531 de haces de retorno, que puede combinar, sincronizar, ponderar por haz y realizar cualquier otro procesamiento adecuado. Por ejemplo, el formador 531 de haces de retorno puede ponderar las superposiciones 1706 recibidas de las señales 527 de enlace descendente de retorno (es decir, aplicar ponderaciones de haz de retorno a las señales de retorno compuestas) antes de combinar las señales. El formador 531 de haces de retorno también puede sincronizar las señales 1706 de retorno compuestas antes de combinar las señales para tener en cuenta al menos las

respectivas diferencias de retardo de ruta entre el retransmisor 3403 de extremo a extremo y los AN 515. En algunos casos, la sincronización puede ser según una señal de baliza recibida (recibida por uno, o más, o todos, los AN 515).

Debido a la naturaleza de extremo a extremo de la formación de haces, la aplicación adecuada de ponderaciones de haz de retorno por el formador 531 de haces de retorno permite la formación de los haces de usuario de retorno, aunque el formador 531 de haces de retorno puede acoplarse al lado del enlace alimentador de los canales de ruta múltiple de extremo a extremo, y los haces de usuario pueden formarse en el lado del enlace de usuario de los canales de ruta múltiple de extremo a extremo. Por lo tanto, puede decirse que el formador 531 de haces de retorno contribuye a la formación de los haces de usuario de retorno (un número de otros aspectos del sistema 3400 también contribuyen a la formación de haces de retorno de extremo a extremo, tal como la inducción de ruta múltiple mediante los transpondedores 3440 de enlace de retorno del retransmisor 3403 de extremo a extremo). Además, puede decirse para mayor simplicidad que el formador 531 de haces de retorno forma los haces de usuario de retorno.

En algunos casos, el retransmisor 3403 de extremo a extremo incluye además un subsistema 3410 de antena de enlace alimentador para iluminar un área 3450 de AN dentro del cual se distribuyen los AN 515. El subsistema 3410 de antena de enlace alimentador comprende el conjunto 3415 de elementos 3416 de recepción constituyentes de enlace alimentador cooperantes. En algunos casos, el retransmisor 3403 de extremo a extremo también incluye un subsistema 3420 de antena de enlace de usuario para iluminar un área 3460 de cobertura de usuario dentro de la cual se distribuyen geográficamente la pluralidad de terminales 517 de usuario (*p. ej.*, en una pluralidad de áreas 519 de cobertura de haz de usuario). El subsistema 3420 de antena de enlace de usuario comprende el conjunto 3425 de elementos 3429 de transmisión constituyentes de enlace de usuario cooperantes. En algunos casos, el subsistema 3420 de antena de enlace de usuario incluye un conjunto de recepción de enlace de usuario y un conjunto de transmisión de enlace de usuario (*p. ej.*, conjuntos de semidúplex separados de elementos constituyentes de enlace de usuario cooperantes). El conjunto de recepción de enlace de usuario y el conjunto de transmisión de enlace de usuario pueden intercalarse espacialmente (*p. ej.*, para apuntar a un mismo reflector), separarse espacialmente (*p. ej.*, para apuntar a los reflectores de recepción y de transmisión, respectivamente) o disponerse de cualquier otra forma adecuada (*p. ej.*, como se explica con referencia a la Fig. 62). En otros casos, el subsistema 3420 de antena de enlace de usuario incluye elementos de dúplex completo (*p. ej.*, cada elemento 3429 de transmisión constituyente de enlace de usuario comparte la estructura de radiación con un elemento 3426 de recepción constituyente de enlace de usuario respectivo). De forma similar, en algunos casos, el subsistema 3410 de antena de enlace alimentador incluye un conjunto de recepción de enlace alimentador y un conjunto de transmisión de enlace alimentador, que puede estar relacionado espacialmente de cualquier forma adecuada y puede irradiar directamente, apuntar a un solo reflector, apuntar a reflectores de transmisión y recepción separados, *etc.* En otros casos, el subsistema 3410 de antena de enlace alimentador incluye elementos de dúplex completo. El subsistema 3410 de antena de enlace alimentador y el subsistema 3420 de antena de enlace de usuario pueden tener los mismos o distintos tamaños de apertura. En algunos casos, el subsistema 3410 de antena de enlace alimentador y el subsistema 3420 de antena de enlace de usuario funcionan en un mismo intervalo de frecuencias (*p. ej.*, un intervalo de frecuencias dentro de la banda K/Ka , *etc.*). En algunos casos, el subsistema 3410 de antena de enlace alimentador y el subsistema 3420 de antena de enlace de usuario funcionan en distintos intervalos de frecuencias (*p. ej.*, el enlace alimentador utiliza la banda V/W , el enlace de usuario utiliza la banda K/Ka , *etc.*). En algunos casos, el subsistema 3410 de antena de enlace alimentador y/o el subsistema 3420 de antena de enlace de usuario pueden funcionar en múltiples intervalos de frecuencias (*p. ej.*, el enlace alimentador utiliza la banda V/W y la banda K/Ka , como se describe a continuación con referencia a las Figs. 64A, 64B, 65A o 65B).

En ejemplos tales como los ilustrados por la Fig. 41, el área 3450 de AN es distinta del área 3460 de cobertura de usuario. El área 3450 de AN puede ser una única área de cobertura contigua o múltiples áreas de cobertura disjuntas. De forma similar (e independientemente de si el área 3450 de AN es única o múltiple), el área 3460 de cobertura de usuario puede ser una única área de cobertura contigua o múltiples áreas de cobertura disjuntas. En algunos casos, el área 3450 de AN es un subconjunto del área 3460 de cobertura de usuario. En algunos casos, al menos la mitad del área 3460 de cobertura de usuario no solapa con el área 3450 de AN. Como se describe a continuación, en algunos casos, el subsistema 3410 de antena de enlace alimentador comprende además uno o más reflectores de enlace alimentador, y el subsistema 3420 de antena de enlace de usuario comprende además uno o más reflectores de enlace de usuario. En algunos casos, el reflector de enlace alimentador es significativamente mayor (*p. ej.*, al menos el doble del área física, al menos cinco veces, diez veces, cincuenta veces, ochenta veces, *etc.*) que el reflector de enlace de usuario. En algunos casos, el reflector de enlace alimentador es aproximadamente la misma área física (*p. ej.*, dentro del 5 %, 10 %, 25 %) que el reflector de enlace de usuario.

En algunos casos, el sistema 3400 opera en el contexto de las funciones de red terrestre, como se describe con referencia a la Fig. 5. Por ejemplo, el retransmisor 3403 de extremo a extremo se comunica con los AN 515, que se comunican con un CPS 505 a través de una red 518 de distribución. En algunos casos, el CPS 505 incluye un formador 529 de haces directo y/o un formador 531 de haces de retorno, por ejemplo, como se describe con referencia a la Fig. 29. Como se ha descrito anteriormente, el formador 529 de haces directo puede participar en la formación de haces directo de extremo a extremo aplicando ponderaciones de haz directo calculadas (*p. ej.*, suministradas por un generador 918 de ponderación de haz directo) a señales 521 de enlace ascendente directo; y el formador 531 de haces de retorno puede participar en la formación de haces de extremo a extremo de retorno

aplicando ponderaciones de haz de retorno calculadas (*p. ej.*, suministradas por un generador 935 de ponderación de haz de retorno) a señales 527 de enlace descendente de retorno. Como se ha descrito anteriormente, las ponderaciones de haz directo de extremo a extremo y/o el conjunto de ponderaciones de haz de retorno de extremo a extremo pueden calcularse según las ganancias de extremo a extremo estimadas para canales de ruta múltiple de extremo a extremo, acoplando de forma comunicativa cada canal de ruta múltiple de extremo a extremo un respectivo de los AN 515 distribuidos con una localización respectiva en el área 3460 de cobertura de usuario (*p. ej.*, un terminal 517 de usuario o cualquier localización de referencia adecuada) a través de una pluralidad respectiva de transpondedores 3430 de guías acodado de enlace directo y/o a través de una respectiva pluralidad de transpondedores 3440 de guías acodado de enlace directo. En algunos casos, aunque no se muestra, el retransmisor 3403 de extremo a extremo incluye un transmisor de señal de baliza. El transmisor de señal de baliza puede implementarse como se ha descrito anteriormente con referencia al generador de señales de baliza y el módulo 424 de soporte de calibración de la Fig. 15. En algunos casos, la señal de baliza generada puede utilizarse de modo que la pluralidad de AN 515 distribuidos estén en comunicación inalámbrica sincronizada temporalmente con el retransmisor 3403 de extremo a extremo (*p. ej.*, con la pluralidad de elementos 3416 de recepción constituyentes de enlace alimentador según la señal de baliza).

En algunos casos, el sistema 3400 incluye un sistema para formar una pluralidad de haces de usuario directos utilizando formación de haces de extremo a extremo. Dichos casos incluyen medios para transmitir una pluralidad de señales 521 de enlace ascendente directo desde una pluralidad de localizaciones geográficamente distribuidas, en donde la pluralidad de señales 521 de enlace ascendente directo se forma a partir de una combinación ponderada de una pluralidad de haces de haz de usuario, y en donde cada señal de haz de usuario corresponde a un, y solo un, haz de usuario. Por ejemplo, la pluralidad de localizaciones distribuidas geográficamente puede incluir una pluralidad de AN 515, y los medios para transmitir la pluralidad de señales 521 de enlace ascendente directo pueden incluir parte o la totalidad de un formador 529 de haces directo, una red 518 de distribución y los AN 515 distribuidos geográficamente (en comunicación con el retransmisor 3403 de extremo a extremo). Dichos casos también pueden incluir medios para retransmitir la pluralidad de señales 521 de enlace ascendente directo para formar una pluralidad de señales 522 de enlace descendente directo. Cada señal 522 de enlace descendente directo se crea amplificando una superposición única de la pluralidad de señales 521 de enlace ascendente directo, y la pluralidad de señales 522 de enlace descendente directo se superponen para formar la pluralidad de haces de usuario, en donde cada señal de haz de usuario es dominante dentro de la correspondiente área 519 de cobertura de haz de usuario. Por ejemplo, los medios para retransmitir la pluralidad de señales 521 de enlace ascendente directo para formar la pluralidad de señales 522 de enlace descendente directo pueden incluir el retransmisor 3403 de extremo a extremo (en comunicación con uno o más terminales 517 de usuario en áreas 519 de cobertura de haz de usuario) con su pluralidad colocalizada de rutas de señal, que pueden incluir transpondedores 3430 de enlace directo y transpondedores 3440 de enlace de retorno.

Algunos de estos casos incluyen primeros medios para recibir una primera superposición de la pluralidad de señales 522 de enlace descendente directo y recuperar una primera de la pluralidad de señales de haces de usuario. Dichos primeros medios pueden incluir un terminal 517 de usuario (*p. ej.*, incluyendo una antena de terminal de usuario y un módem u otros componentes para recuperar señales de haces de usuario de las señales de enlace descendente directo). Algunos de estos casos también incluyen segundos medios (*p. ej.*, que incluyen un segundo terminal de usuario 517) para recibir una segunda superposición de la pluralidad de señales 522 de enlace descendente directo y recuperar una segunda de la pluralidad de señales de haz de usuario. Por ejemplo, los primeros medios para recibir están situados dentro de un primer área 519 de cobertura de haz de usuario, y los segundos medios para recibir están situados dentro de una segunda área 519 de cobertura de haz de usuario.

La Fig. 42 es una ilustración de un modelo ilustrativo de rutas de señal para señales que transportan datos de retorno en el enlace 523 de retorno de extremo a extremo. El modelo ilustrativo puede funcionar de forma similar al modelo descrito con referencia a las Figs. 6-8, excepto en que el retransmisor 3403 de extremo a extremo incluye rutas 3502 de señal de enlace de retorno especializadas para comunicaciones de enlace de retorno. Cada ruta 3502 de señal de enlace de retorno puede incluir un transpondedor 3440 de enlace de retorno acoplado (*p. ej.*, acoplado de forma selectiva) entre un elemento 3426 de recepción constituyente de enlace de usuario y un elemento 3419 de transmisión constituyente de enlace alimentador. Las señales que se originan con los terminales 517 de usuario en K áreas 519 de cobertura de haz de usuario se transmiten (como señales 525 de enlace ascendente de retorno) al retransmisor 3403 de extremo a extremo, son recibidas por un conjunto de L elementos 3426 de recepción constituyentes de enlace de usuario, comunicadas a través de L rutas 3502 de señal de enlace de retorno-enlace (*p. ej.*, a través de L transpondedores 3440 de enlace de retorno) a correspondientes L elementos 3419 de transmisión constituyentes de enlace-alimentador y transmitidos por cada uno de los L elementos 3419 de transmisión constituyentes de enlace-alimentador a alguno o todos los M AN 515 (similar a lo que se muestra en la Fig. 7). De esta forma, las múltiples rutas 3502 de señal de enlace de retorno (*p. ej.*, los transpondedores 3440 de enlace de retorno) inducen la ruta múltiple en las comunicaciones de enlace de retorno. Por ejemplo, la salida de cada ruta 3502 de señal de enlace de retorno es una señal 527 de enlace descendente de retorno que corresponde a un compuesto recibido de las señales 525 de enlace ascendente de retorno transmitidas desde múltiples de las áreas 519 de cobertura de haz de usuario, y cada señal 527 de enlace descendente de retorno se transmite a algunos o todos los M AN 515 (*p. ej.*, distribuidos geográficamente en un área 3450 de AN). Por lo tanto, cada AN 515 puede recibir una superposición 1706 de algunas o todas las señales 527 de enlace descendente de retorno, que, a continuación, pueden comunicarse a un formador 531 de haces de retorno. Como se ha descrito anteriormente, existen L (o hasta L) distintos modos para que una señal vaya desde un terminal 517 de usuario situado en un área 519 de

cobertura de haz de usuario hasta un AN 515 particular. El retransmisor 3403 de extremo a extremo crea, de este modo, L rutas entre un terminal 517 de usuario y un AN 515, denominados colectivamente un canal 1908 de ruta múltiple de retorno de extremo a extremo (*p. ej.*, similar al de la Fig. 8).

Los canales de ruta múltiple de retorno de extremo a extremo pueden modelizarse de la misma forma descrita anteriormente. Por ejemplo, **Ar** es la matriz de radiación de enlace ascendente de retorno de $L \times K$, **Ct** es la matriz de radiación de enlace descendente de retorno de $M \times L$, y **Eret** es la matriz de carga útil de retorno de $L \times L$ para las rutas desde los elementos 3426 de recepción constituyentes de enlace de usuario hasta los elementos 3419 de transmisión constituyentes de enlace alimentador. Como se ha descrito anteriormente, el canal de ruta múltiple de retorno de extremo a extremo desde un terminal 517 de usuario en un área 519 de cobertura de haz de usuario particular hasta un AN particular 515 es el efecto neto de las L rutas de señal distintas inducidas por L únicas rutas 3502 de señal de enlace de retorno a través del retransmisor 3403 de extremo a extremo. Con K áreas 519 de cobertura de haz de usuario y M AN 515, puede haber $M \times K$ canales de ruta múltiple de retorno de extremo a extremo inducidos en el enlace 523 de retorno de extremo a extremo (a través del retransmisor 3403 de extremo a extremo) y cada una puede modelizarse individualmente para calcular un elemento correspondiente de una matriz de canal de retorno de $M \times K$ **Hret** (**Ct** $\times$ **Eret** $\times$ **Ar**). Como se ha indicado anteriormente (*p. ej.*, con referencia a las Figs. 6 a 8), no todos los AN 515, las áreas 519 de cobertura de haz de usuario y/o los transpondedores de enlace de retorno 3440 han de participar en los canales de ruta múltiple de retorno de extremo a extremo. En algunos casos, el número de haces de usuario K es mayor que el número de transpondedores L en la ruta de señal del canal de ruta múltiple de retorno de extremo a extremo; y/o el número de AN 515 M es mayor que el número de transpondedores 3440 de enlace de retorno L en la ruta de señal del canal de ruta múltiple de retorno de extremo a extremo. Como se describe con referencia a la Fig. 5, el CPS 505 puede permitir la formación de haces de usuario de retorno aplicando ponderaciones de haz de retorno a las señales 527 de retorno de enlace descendente recibidas (las señales recibidas, después de la recepción por el AN 515 se denominan señales 907 de retorno compuestas, como se explica más adelante). Las ponderaciones de haz de retorno pueden calcularse basándose en el modelo de las $M \times K$ rutas de señal para cada canal de ruta múltiple de retorno de extremo a extremo que acopla los terminales 517 de usuario en un área 519 de cobertura de haz de usuario con uno de la pluralidad de AN 515.

La Fig. 43 es una ilustración de un modelo ilustrativo de rutas de señal para señales que transportan datos directos en el enlace 501 directo de extremo a extremo. El modelo ilustrativo puede funcionar de forma similar al modelo descrito con referencia a las Figs. 9-11, excepto que el retransmisor 3403 de extremo a extremo incluye rutas 3602 de señal de enlace directo especializadas para comunicaciones de enlace directo. Cada ruta 3602 de señal de enlace directo puede incluir un transpondedor 3430 de enlace directo acoplado entre un elemento 3416 de recepción constituyente de enlace alimentador y un elemento 3429 de transmisión constituyente de enlace de usuario. Como se ha descrito anteriormente, cada señal 521 de enlace ascendente directo se pondera por haz (*p. ej.*, en un formador 529 de haces directo en el CPS 505 del segmento 502 terrestre) antes de la transmisión desde un AN 515. Cada AN 515 recibe una señal 521 de enlace ascendente directo única y transmite la señal 521 de enlace ascendente directo única a través de uno de los M enlaces ascendentes (*p. ej.*, de una forma sincronizada temporalmente). Las señales 521 de enlace ascendente directo son recibidas de localizaciones distribuidas geográficamente (*p. ej.*, desde los AN 515) por algunos o todos los transpondedores 3430 de enlace directo de una forma superpuesta que crea señales 545 directas de entrada compuestas. Los transpondedores 3430 de enlace directo reciben simultáneamente las señales 545 directas de entrada compuestas respectivas, aunque con una temporización ligeramente distinta debido a diferencias en las localizaciones de cada elemento 3416 de recepción constituyente de enlace alimentador asociado a cada transpondedor 3430 de enlace directo. Por ejemplo, aunque cada elemento 3416 de recepción constituyente de enlace alimentador puede recibir un compuesto de la misma pluralidad de señales 521 de enlace ascendente directo, las señales 545 directas de entrada compuestas recibidas pueden ser ligeramente distintos. Las señales 545 directas de entrada compuestas son recibidas por L transpondedores 3430 de enlace directo a través de elementos 3416 de recepción constituyentes de enlace alimentador respectivos, se comunican a través de los L transpondedores 3430 de enlace directo de salida a L elementos 3429 de transmisión constituyentes de enlace de usuario correspondientes y se transmiten mediante los L elementos 3429 de transmisión constituyentes de enlace de usuario a una o más de las K áreas 519 de cobertura de haz de usuario (*p. ej.*, como señales 522 de enlace descendente directo, correspondiendo cada una a una respectiva de las señales 545 directas de entrada compuestas recibidas). De esta forma, las múltiples rutas 3602 de señal de enlace directo (*p. ej.*, transpondedores 3430 de enlace directo) inducen la ruta múltiple en las comunicaciones de enlace directo. Como se ha descrito anteriormente, existen L (o hasta L) distintas formas para que una señal llegue desde un AN 515 hasta un terminal 517 de usuario particular en un área 519 de cobertura de haz de usuario. El retransmisor 3403 de extremo a extremo induce, de este modo, múltiples (*p. ej.*, hasta L) rutas 3602 de señal entre un AN 515 y un terminal 517 de usuario (o un área 519 de cobertura de haz de usuario), que puede denominarse colectivamente un canal 2208 de ruta múltiple directo de extremo a extremo (*p. ej.*, similar a la Fig. 10).

Los canales 2208 de ruta múltiple directos de extremo a extremo pueden modelizarse de la misma forma descrita anteriormente. Por ejemplo, **Cr** es la matriz de radiación de enlace ascendente directa de $L \times M$, **At** es la matriz de radiación de enlace descendente de retorno de $K \times L$ y **Efwd** es la matriz de carga útil de retorno de $L \times L$ para las rutas desde los elementos 3416 de recepción constituyentes de enlace alimentador hasta los elementos 3429 de transmisión constituyentes de enlace de usuario. En algunos casos, la matriz de carga útil directa **Efwd** y la matriz de carga útil de retorno **Eret** pueden ser distintas para reflejar diferencias entre las rutas 3602 de señal de enlace directo y las rutas

3502 de señal de enlace de retorno. Como se ha descrito anteriormente, el canal de ruta múltiple directo de extremo a extremo desde un AN 515 particular hasta un terminal 517 de usuario en un área 519 de cobertura de haz de usuario particular es el efecto neto de las L distintas rutas de señal inducidas por L rutas 3602 de señal de enlace directo únicas a través del retransmisor 3403 de extremo a extremo. Con las K áreas 519 de cobertura de haz de usuario y los M AN 515, puede haber $M \times K$ canales de ruta múltiple directos de extremo a extremo inducidos en el enlace 501 directo de extremo a extremo y cada uno puede modelarse para calcular un correspondiente elemento de una matriz de canal directo $M \times K$ **Hfwd** (**At** $\times$ **Efwd** $\times$ **Cr**). Como se ha indicado con referencia a la dirección de retorno, no todos los AN 515, las áreas 519 de cobertura de haz de usuario y/o los transpondedores 3430 de enlace directo tienen que participar en los canales de ruta múltiple directos de extremo a extremo. En algunos casos, el número de haces de usuario K es mayor que el número de transpondedores 3430 de enlace directo L en la ruta de señal del canal de ruta múltiple directo de extremo a extremo; y/o el número de AN 515 M es mayor que el número de transpondedores 3430 de enlace directo L en la ruta de señal del canal de ruta múltiple directo de extremo a extremo. Como se describe con referencia a la Fig. 5, puede calcularse una ponderación de haz apropiada para cada uno de la pluralidad de canales de ruta múltiple directos de extremo a extremo por el CPS 505 para formar los haces de usuario directos. Usar múltiples transmisores (AN 515) para un único receptor (terminal 517 de usuario) puede proporcionar diversidad de ruta de transmisión para permitir la transmisión satisfactoria de información a cualquier terminal 517 de usuario en presencia del canal de ruta múltiple inducido intencionadamente.

Las Figs. 41-43 describen retransmisores 3403 de extremo a extremo implementados con transpondedores 3430 de enlace directo y transpondedores 3440 de enlace de retorno separados. Las Figs. 44A y 44B muestran una ilustración de una ruta 3700 de señal directa ilustrativa (como la ruta 3602 de señal directa de la Fig. 43) y la ruta 3750 de la señal de retorno (como la ruta 3502 de la señal de retorno de la Fig. 42), respectivamente. Como se ha descrito anteriormente, la ruta 3700 de señal directa incluye un transpondedor 3430 de enlace directo acoplado entre un elemento 3416 de recepción constituyente de enlace alimentador y un elemento 3429 de transmisión constituyente de enlace de usuario. La ruta 3750 de señal de retorno incluye un transpondedor 3440 de enlace de retorno acoplado entre un elemento 3426 de recepción constituyente de enlace de usuario y un elemento 3419 de transmisión constituyente de enlace alimentador. En algunos casos, cada transpondedor 3430 de enlace directo y cada transpondedor 3440 de enlace de retorno es un transpondedor de polarización cruzada.

La Fig. 63A ilustra una asignación 6300 de espectro de frecuencias ilustrativo según diversas realizaciones de la presente descripción. Una asignación 6300 de espectro de frecuencias ilustrativo de la Fig. 63A ilustra dos intervalos 6325a y 6330a de frecuencias. Aunque se ilustra como separados, los intervalos 6325a y 6330a de frecuencias pueden ser, de forma alternativa, adyacentes (*p. ej.*, un intervalo contiguo). Como se ilustra en la Fig. 63A, el transpondedor 3430 de enlace directo recibe una señal 6340a de enlace ascendente directo (*p. ej.*, que puede ser un ejemplo de la señal 521 de enlace ascendente directo de la Fig. 41) en un intervalo 6330a de frecuencias de enlace ascendente con left-hand circular polarization (polarización circular hacia la izquierda - LHCP) y emite una señal 6345a de enlace descendente directo (*p. ej.*, que puede ser un ejemplo de señal 522 de enlace descendente directo de la Fig. 41) en un intervalo 6325a de frecuencias de enlace descendente con right-hand circular polarization (polarización circular hacia la derecha - RHCP); y cada transpondedor 3440 de enlace de retorno recibe una señal 6350a de enlace ascendente de retorno (*p. ej.*, que puede ser un ejemplo de la señal 525 de enlace ascendente de retorno de la Fig. 41) en el intervalo 6330a de frecuencias de enlace ascendente con right-hand circular polarization (polarización circular hacia la derecha - RHCP) y emite una señal 6355a de enlace descendente de retorno (*p. ej.*, que puede ser un ejemplo de la señal 527 de enlace descendente de retorno de la Fig. 41) en el intervalo 6325a de frecuencias de enlace descendente con left-hand circular polarization (polarización circular hacia la izquierda - LHCP). Se ilustra un caso de este tipo (es decir, que sigue las polarizaciones descritas en el ejemplo anterior) siguiendo únicamente las líneas continuas de las Figs. 44A y 44B, y se ilustra otro caso (es decir, que sigue polarizaciones opuestas de las descritas en el ejemplo anterior) siguiendo únicamente las líneas discontinuas de las Figs. 44A y 44B.

En otros casos, algunos o todos los transpondedores pueden proporcionar un par de rutas de señal de polarización doble. Por ejemplo, siguiendo tanto las líneas continuas como discontinuas de las Figs. 44A y 44B, los transpondedores 3430 de enlace directo y los transpondedores 3440 de enlace de retorno pueden recibir señales 521 de enlace ascendente directo a la misma o distinta frecuencia de enlace ascendente con ambas polarizaciones (LHCP y RHCP) y ambos pueden emitir señales 522 de enlace descendente directo a la misma o distinta frecuencia de enlace descendente con ambas polarizaciones (RHCP y LHCP). Tales casos pueden utilizar cualquier tipo adecuado de técnicas de mitigación de interferencia (*p. ej.*, utilizando división de tiempo, división de frecuencia, separación espacial, *etc.*) y pueden permitir que múltiples sistemas funcionen en paralelo. Una de tales implementaciones por división de frecuencia se muestra en la asignación 6301 de frecuencia ilustrativo de la Fig. 63B. En la asignación 6301 de frecuencia ilustrativa, cada transpondedor 3430 de enlace directo recibe una señal 6340b de enlace ascendente directo a través de una primera parte del intervalo 6330b de frecuencias de enlace ascendente (*p. ej.*, utilizando ambas polarizaciones) y emite una señal 6345b de enlace descendente directo a través de una primera parte de un intervalo 6325b de frecuencias de enlace descendente (*p. ej.*, utilizando ambas polarizaciones); y cada transpondedor 3440 de enlace de retorno recibe una señal 6350b de enlace ascendente de retorno a través de una segunda parte del intervalo 6330b de frecuencias de enlace ascendente (*p. ej.*, utilizando ambas polarizaciones) y emite una señal 6355a de enlace descendente de retorno sobre una segunda parte del intervalo 6325b de frecuencias de enlace descendente (*p. ej.*, utilizando ambas polarizaciones). En algunos casos, los anchos de banda de las primeras partes y las segundas partes de los intervalos 6330b y 6325b de frecuencias

pueden ser iguales. En otros ejemplos, los anchos de banda de las primeras partes y las segundas partes pueden ser distintos. Como ejemplo, cuando el tráfico fluye a través del retransmisor 3403 de extremo a extremo predominantemente en la dirección directa (representada por el enlace 501 directo de ETE en la Fig. 41), los anchos de banda de las primeras partes de los intervalos 6330b y 6325b de frecuencias utilizados para las comunicaciones de enlace directo pueden ser mayores (*p. ej.*, significativamente mayores) que los anchos de banda de las segundas partes utilizadas para las comunicaciones de enlace de retorno.

En algunos casos, el retransmisor 3403 de extremo a extremo incluye un gran número de transpondedores, tales como 512 transpondedores 3430 de enlace directo y 512 transpondedores 3440 de enlace de retorno (*p. ej.*, 1.024 transpondedores en total). Otras implementaciones pueden incluir números más pequeños de transpondedores, tales como 10, o cualquier otro número adecuado. En algunos casos, los elementos de antena se implementan como estructuras de dúplex completo, de modo que cada elemento de antena de recepción comparte estructura con un respectivo elemento de antena de transmisión. Por ejemplo, cada elemento de antena ilustrado puede implementarse como dos de cuatro puertos de guía de ondas de una estructura de radiación adaptada tanto para transmisión como para recepción de señales. En algunos casos, solo los elementos de enlace alimentador, o solo los elementos de enlace de usuario, son dúplex completo. Otras implementaciones pueden utilizar distintos tipos de polarización. Por ejemplo, en algunas implementaciones, los transpondedores pueden acoplarse entre un elemento de antena de recepción y un elemento de antena de transmisión de la misma polaridad.

Tanto el transpondedor 3430 de enlace directo como el transpondedor 3440 de enlace de retorno ilustrativo pueden incluir algunos o todos los LNA 3705, convertidores 3710 de frecuencia y filtros asociados, amplificadores 3715 de canal, desplazadores 3720 de fase, amplificadores 3725 de potencia (*p. ej.*, traveling wave tube amplifiers (amplificadores de tubo de onda progresivas - TWTA), solid state power amplifiers (amplificadores de potencia de estado sólido - SSPA), *etc.*) y filtros 3730 de armónicos. En las implementaciones de polarización doble, como se muestra, cada polarización tiene su propia ruta de señal con su propio conjunto de componentes de transpondedor. Algunas implementaciones pueden tener más o menos componentes. Por ejemplo, los convertidores 3710 de frecuencia y los filtros asociados pueden ser útiles en casos donde las frecuencias de enlace ascendente y de enlace descendente son distintas. Como ejemplo, cada transpondedor 3430 de enlace directo puede aceptar una entrada en un primer intervalo de frecuencias y puede emitir en un segundo intervalo de frecuencias; y cada transpondedor 3440 de enlace de retorno puede aceptar una entrada en el primer intervalo de frecuencias y puede emitirse en el segundo intervalo de frecuencias.

En algunos casos, se utilizan múltiples subbandas (*p. ej.*, siete subbandas de 500 MHz, como se ha descrito anteriormente). Por ejemplo, en algunos casos, pueden proporcionarse transpondedores que funcionan en las mismas subbandas que se utilizan en una implementación de múltiples subbandas de la red terrestre, de forma efectiva para permitir múltiples sistemas de formación de haces de extremo a extremo independientes y paralelos a través de un único retransmisor de extremo a extremo (funcionando cada sistema de formación de haces de extremo a extremo en una subbanda distinta). En tales casos, cada transpondedor puede incluir múltiples convertidores 3710 de frecuencia y filtros asociados y/u otros componentes, dedicados al tratamiento de una o más de las subbandas. El uso de múltiples subbandas de frecuencia puede permitir requisitos relajados en la respuesta de amplitud y fase del transpondedor, ya que la red terrestre puede determinar por separado las ponderaciones de haz utilizadas en cada una de las subbandas, calibrando de forma efectiva la amplitud de la banda de paso y la variación de fase de los transpondedores. Por ejemplo, con los transpondedores directos y de retorno separados, y utilizando 7 subbandas, puede utilizarse un total de 14 ponderaciones de haces distintos para cada haz [es decir, de 7 subbandas * 2 direcciones (directa y de retorno)]. En otros casos, un sistema de formación de haces de extremo a extremo de ancho de banda ancho puede utilizar múltiples subbandas en la red terrestre, pero pasar una o más (o todas las) subbandas a través de transpondedores de banda ancha (*p. ej.*, pasando 7 subbandas, cada una con un ancho de 500 MHz, a través de un transpondedor de ancho de banda de 3,5 GHz). En algunos casos, cada ruta de transpondedor incluye solo un LNA 3705, un amplificador 3715 de canal y un amplificador 3725 de potencia. Algunas implementaciones del retransmisor 3403 de extremo a extremo incluyen controladores de desplazamiento de fase y/u otros controladores que pueden establecer individualmente las fases y/u otras características de cada transpondedor como se ha descrito anteriormente.

Los elementos de antena pueden transmitir y/o recibir señales de cualquier forma adecuada. En algunos casos, el retransmisor 3403 de extremo a extremo tiene uno o más reflectores alimentados por conjunto. Por ejemplo, el subsistema 3410 de antena de enlace alimentador puede tener un reflector de enlace alimentador tanto para transmitir como para recibir, o un reflector de recepción de enlace alimentador y un reflector de recepción de enlace alimentador separados. En algunos casos, el subsistema 3410 de antena de enlace alimentador puede tener múltiples reflectores de enlace alimentador para transmisión o recepción, o ambos. De forma similar, el subsistema 3420 de antena de enlace de usuario puede tener un reflector de enlace de usuario tanto para transmitir como para recibir, o un reflector de transmisión de enlace de usuario y un reflector de recepción de enlace de usuario separados. En algunos casos, el subsistema 3420 de antena de enlace de usuario puede tener múltiples reflectores de enlace de usuario para la transmisión o recepción, o ambos. En un caso ilustrativo, el subsistema 3410 de antena de enlace alimentador comprende un conjunto de estructuras de radiación, y cada estructura de radiación incluye un elemento 3416 de recepción constituyente de enlace alimentador y un elemento 3419 de transmisión constituyente de enlace alimentador. En un caso de este tipo, el subsistema 3410 de

antena de enlace alimentador puede incluir también un reflector de enlace alimentador que ilumina los elementos 3416 de recepción constituyentes de enlace alimentador y se ilumina por los elementos 3419 de transmisión constituyentes de enlace alimentador. En algunos casos, el reflector se implementa como reflectores múltiples, que pueden tener distintas formas, tamaños, orientaciones, etc. En otros casos, el subsistema 3410 de antena de enlace alimentador y/o el subsistema 3420 de antena de enlace de usuario se implementan sin reflectores, por ejemplo, como un conjunto de irradiación directa.

Como se ha explicado anteriormente, conseguir una distribución relativamente uniforme de los AN 515 a través de un área de cobertura de usuario dada puede implicar situar los AN 515 en localizaciones no deseables. Por lo tanto, la presente descripción describe técnicas para permitir que los AN 515 se distribuyan geográficamente dentro de un área 3450 de AN que es más pequeña (a veces significativamente) que el área 3460 de cobertura de usuario. Por ejemplo, en algunos casos, el área 3450 de AN puede ser inferior a la mitad, inferior a un cuarto, inferior a una quinta parte o inferior a una décima parte del área física del área 3460 de cobertura de usuario. Además, pueden utilizarse simultáneamente múltiples áreas 3450 de AN o pueden activarse para su uso a tiempos distintos. Como se explica en la presente memoria, estas técnicas incluyen el uso de reflectores de distintos tamaños, reflector o reflectores compuestos, transpondedores acoplados de forma selectiva, distintos subsistemas de antena de enlaces de usuario y de enlace alimentador, etc.

Como se ha indicado anteriormente, separar el subsistema 3410 de antena de enlace alimentador y el subsistema 3420 de antena de enlace de usuario puede posibilitar dar servicio de una o más áreas 3450 de AN que son distintas de una o más áreas 3460 de cobertura de usuario. Por ejemplo, el subsistema 3410 de antena de enlace alimentador puede implementarse con un reflector que tiene un área física apreciablemente más grande que el reflector del área 3460 de cobertura de usuario. El reflector más grande puede permitir que un gran número de AN 515 se distribuya geográficamente en un área 3450 de AN apreciablemente más pequeña, tal como en un pequeño subconjunto del área 3460 de cobertura de usuario. Algunos ejemplos se muestran en las Figs. 45A-45G. De forma alternativa, un área 3450 de AN que es un subconjunto del área de cobertura de usuario puede desplegarse utilizando un único subsistema de antena tanto para el enlace alimentador como para el enlace de usuario utilizando distintos intervalos de frecuencias para el enlace alimentador y los enlaces de usuario. Por ejemplo, un área 3450 de AN que es un cuarto del área de un área 3460 de cobertura de usuario puede desplegarse utilizando una frecuencia de portadora de enlace alimentador que es aproximadamente el doble de la frecuencia de portadora de enlace de usuario. En un ejemplo, el enlace de usuario puede utilizar un intervalo (o intervalos) de frecuencias en las bandas K/Ka (*p. ej.*, de aproximadamente 30 GHz) mientras que el enlace alimentador utiliza un intervalo o intervalos de frecuencias en las bandas V/W (*p. ej.*, de aproximadamente 60 GHz). En este caso, el área 3450 de AN será concéntrica con el área 3460 de cobertura de usuario.

La Fig. 45A muestra un ejemplo de un área 3800 de cobertura del hemisferio visible de la Tierra del retransmisor 3403 de extremo a extremo (*p. ej.*, un satélite). En el retransmisor 3403 de extremo a extremo ilustrativo, el subsistema 3410 de antena de enlace alimentador incluye un reflector de enlace alimentador de 18 metros, y el subsistema 3420 de antena de enlace de usuario incluye un reflector de enlace de usuario de 2 metros (*p. ej.*, el área de reflector de enlace alimentador es aproximadamente ochenta veces mayor que el área de reflector de enlace de usuario). Cada subsistema de antena también incluye un conjunto de 512 elementos de recepción/transmisión constituyentes cooperantes. El retransmisor 3403 de extremo a extremo ilustrativo puede incluir 512 transpondedores 3430 de enlace directo (*p. ej.*, que forman 512 rutas 3700 de señal directa como se muestra en la Fig. 44A) y 512 transpondedores 3440 de enlace de retorno (*p. ej.*, que forman 512 rutas 3750 de señal de retorno como se muestra en la Fig. 44B). Desde una posición orbital geoestacionaria del retransmisor 3403 de extremo a extremo, el subsistema 3420 de antena de enlace de usuario ilumina el área 3460 de cobertura de usuario que se extiende sustancialmente sobre el área 3800 de cobertura del hemisferio visible de la Tierra mientras que el reflector de enlace alimentador ilumina un área 3450 de AN que es una fracción del área 3460 de cobertura de usuario. Aunque el área 3450 de AN es un pequeño subconjunto del área 3460 de cobertura de usuario grande, puede soportarse una gran capacidad del sistema que incluye un gran número de haces de usuario utilizando la formación de haces de extremo a extremo con un gran número de AN 515 en el área 3450 de AN (*p. ej.*, utilizada de forma cooperativa en un grupo de AN). Por ejemplo, cientos de AN 515 cooperantes pueden distribuirse geográficamente dentro del área 3450 de AN mostrada en la Fig. 45A como una región sombreada en el este de los Estados Unidos. En un ejemplo, 597 AN 515 se distribuyen geográficamente dentro de un área 3450 de AN.

La Fig. 46A muestra la cobertura del hemisferio visible de la Tierra con formación de haces de extremo a extremo aplicada entre los AN 515 en el área 3450 de AN y el área 3460 de cobertura de usuario. El área 3460 de cobertura de usuario incluye 625 áreas 519 de cobertura de haz de usuario que proporcionan servicio a los terminales 517 de usuario dentro del área 3800 de cobertura del hemisferio visible de la Tierra.

La Fig. 45B muestra un ejemplo de un área 3900 de cobertura de los Continental United States (Estados Unidos continentales - CONUS) de un retransmisor 3403 de extremo a extremo (*p. ej.*, un satélite). El retransmisor 3403 de extremo a extremo ilustrativo es similar al del ejemplo mostrado en la Fig. 45A, excepto que el subsistema 3410 de antena de enlace alimentador utiliza un reflector de enlace alimentador de 18 metros, mientras que el subsistema 3420 de antena de enlace de usuario incluye un reflector de enlace de usuario de 5 metros (*p. ej.*, el área del reflector de

enlace alimentador es aproximadamente trece veces mayor que el área del reflector de enlace de usuario). El área 3450 de AN (*p. ej.*, el área que contiene el grupo de AN cooperante) es la misma que la de la Fig. 45A: una región que es un pequeño subconjunto del área 3460 de cobertura de usuario en el este de los Estados Unidos que tienen, *p. ej.*, 597 AN 515 distribuidos en la misma.

La Fig. 46B muestra el área 3900 de cobertura de CONUS con formación de haces de extremo a extremo aplicada entre los AN 515 en el área 3450 de AN y el área 3460 de cobertura de usuario. El área 3460 de cobertura de usuario incluye 523 áreas 519 de cobertura de haz de usuario que proporcionan servicio a los terminales 517 de usuario dentro del área de cobertura de CONUS.

La presente descripción soporta varias localizaciones geográficas y relativas del grupo de AN. Como se describe en la presente memoria, un retransmisor 3403 de extremo a extremo como los ilustrados en las Figs. 49A y 49B puede proporcionar un servicio de comunicaciones entre una o más áreas 3460 de cobertura de usuario y los AN 515 situados en una o más áreas 3450 de AN. En algunos ejemplos, tales como el ejemplo ilustrado en la Fig. 45B, el área 3450 de AN puede solaparse o estar situada completamente dentro del área 3460 de cobertura de usuario. De forma adicional o alternativa, un área 3450 de AN puede no solaparse con un área 3460 de cobertura de usuario como se ilustra en la Fig. 45C. En algunos casos, tal disposición puede requerir el uso de un mecanismo de bucle de retorno especial, que se explica a continuación con referencia a las Figs. 55A-55C.

Como otro ejemplo de una posible disposición geográfica, el grupo de AN (*p. ej.*, el área 3450 de AN) puede solapar al menos parcialmente con un área de baja demanda del área 3460 de cobertura de usuario. En la Fig. 45D se muestra un ejemplo donde el área 3450 de AN se sitúa en un área de baja demanda del área 3460 de cobertura de usuario. En algunos casos, puede determinarse un área de baja demanda basándose en que la demanda del servicio de comunicación esté por debajo de un umbral de demanda. Por ejemplo, el área de baja demanda puede tener una demanda promedio que es menor que una fracción (*p. ej.*, la mitad, un cuarto, *etc.*) de la demanda promedio a través de otras áreas servidas del área 3460 de cobertura de usuario. Un despliegue de este tipo puede soportar una mayor capacidad de sistema en áreas de mayor demanda (*p. ej.*, permitiendo que partes del espectro de frecuencias asociados con comunicaciones de enlace alimentador en el área de baja demanda se utilicen para haces de usuario en las áreas de mayor demanda). Es decir, puede utilizarse un ancho de banda de sistema dado (que puede ser un intervalo de frecuencias contiguo o múltiples no contiguos) en su mayor parte o en su totalidad para dar servicio a haces de usuario en áreas fuera del área de baja demanda, y puede asignarse en su mayoría a comunicaciones de enlace alimentador dentro del área de baja demanda, y asignándose a los haces de usuario en el área de baja demanda una parte más pequeña (*p. ej.*, menos de la mitad) del ancho de banda del sistema. Por lo tanto, en algunos casos, las comunicaciones de enlace de usuario en áreas de mayor demanda pueden utilizar al menos una parte del mismo ancho de banda de frecuencia usado para comunicaciones de enlace alimentador en un área de baja demanda en la que se sitúa el área 3450 de nodo de acceso. En este ejemplo, el área 3450 de AN está contenida completamente dentro del área 3460 de cobertura de usuario, aunque las dos pueden solapar solo parcialmente en algunos casos.

En algunos casos, el grupo de AN puede estar situado dentro de (*p. ej.*, en la superficie de) un cuerpo de agua (*p. ej.*, un lago, un mar o un océano). En la Fig. 45E se muestra un ejemplo, que muestra un área 3460 de cobertura de usuario que incluye los Estados Unidos y un área 3450 de AN situada fuera de la costa este de los Estados Unidos. En algunos casos, el área de AN puede solapar al menos parcialmente con una masa continental (*p. ej.*, algunos AN 515 pueden no estar situados dentro del cuerpo de agua). Por lo tanto, el ejemplo explicado con respecto a la Fig. 45E incluye un escenario en el que solo un AN 515 está situado dentro del cuerpo de agua, todos los AN 515 están situados dentro del cuerpo de agua, o algún número intermedio de AN 515 están situados dentro del cuerpo de agua. Los beneficios de situar parte o la totalidad de un grupo de AN en un cuerpo de agua incluyen la disponibilidad de grandes áreas para el grupo de AN en proximidad a las masas continentales donde se desea la cobertura del usuario, flexibilidad en el posicionamiento de los AN 515 dentro del área 3450 de AN y una competencia reducida por los derechos de espectro. Por ejemplo, pueden reducirse consideraciones reguladoras, tales como interferencia y compartición de banda con otros servicios cuando un grupo de AN no está situado en un país o masa continental particular.

Los AN 515 situados dentro del cuerpo de agua pueden estar situados en plataformas fijas o flotantes. Los ejemplos de plataformas fijas utilizadas para los AN 515 incluyen plataformas petrolíferas fijas, turbinas eólicas marítimas fijas u otras plataformas instaladas en pilotes. Ejemplos de plataformas flotantes incluyen embarcaciones, boyas, plataformas petrolíferas en alta mar, turbinas eólicas flotantes en alta mar y similares. Algunas plataformas fijas o flotantes pueden tener ya fuentes de alimentación, mientras que otras plataformas fijas o flotantes especializadas para su uso en un grupo de AN pueden configurarse con generación de potencia (*p. ej.*, un generador, generación de potencia solar, turbina eólica, *etc.*). La distribución de señales 521 directas específicas de nodo de acceso desde un formador 529 de haces a los AN 515 y las señales 1706 de retorno compuestas desde los AN 515 hasta el formador 531 de haces puede proporcionarse a través de una red 518 de distribución que incluye enlaces cableados o inalámbricos entre el formador o formadores de haces o una plataforma de distribución y los AN 515. En algunos casos, la red 518 de distribución puede incluir un cable submarino acoplado con el formador o formadores de haces y los AN 515 distribuidos dentro del cuerpo de agua como se ha explicado con referencia a la Fig. 45G. El cable submarino puede proporcionar también una fuente de alimentación. La red de distribución puede incluir de forma adicional o alternativa

enlaces de RF inalámbricos (*p. ej.*, enlaces de red de retorno de microondas) o enlaces ópticos de espacio libre. En algunos ejemplos, el formador o formadores de haces, un punto de distribución para el formador o formadores de haces o la red 518 de distribución, en su conjunto, pueden estar situados dentro del cuerpo de agua. Por ejemplo, la Fig. 58 muestra un CPS 505 dispuesto en una plataforma marítima 5805 (*p. ej.*, fija o flotante) que comunica tráfico a un nodo de red terrestre y se acopla a los AN 515 en el cuerpo de agua a través de la red 518 de distribución.

En algunos casos, al menos algunos AN 515 en el grupo de AN pueden ser móviles (*p. ej.*, pueden situarse en plataformas móviles). Por ejemplo, los AN 515 dentro de un cuerpo de agua pueden situarse en barcos o embarcaciones que pueden controlarse para resituar la posición como se ilustra mediante la plataforma 5805 flotante en la Fig. 58. De forma similar, los AN 515 terrestres pueden situarse en plataformas sobre vehículos, mientras que los AN 515 aéreos pueden situarse en plataformas móviles tales como aeronaves, globos, drones y similares. En algunos ejemplos, los AN 515 móviles pueden utilizarse para optimizar la distribución de los AN 515 dentro del área 3450 de AN. Por ejemplo, los AN 515 pueden reposicionarse para una mejor distribución geográfica dentro del área 3450 de AN, o los AN 515 pueden reposicionarse en caso de fallo de uno o más AN 515 (*p. ej.*, para redistribuir los AN 515 disponibles). Las ponderaciones de formación de haces pueden recalcularse para las nuevas posiciones y los AN 515 pueden volver a sincronizar la temporización y fase de transmisión para ajustarse a las nuevas posiciones, como se ha descrito anteriormente.

En algunos ejemplos, el área 3450 de AN puede reposicionarse utilizando AN 515 móviles (*p. ej.*, uno o más AN 515 en el grupo de AN pueden situarse en plataformas móviles). En la Fig. 45F se muestra un ejemplo que muestra un área 3450a de AN inicial que incluye múltiples AN 515 distribuidos geográficamente dentro del área 3450a de AN. Por diversos motivos, el grupo de AN puede reposicionarse para estar dentro de la nueva área 3450b de AN. Por ejemplo, puede utilizarse un grupo de AN móvil para adaptarse a cambios en la posición del retransmisor 3403 de extremo a extremo. En un ejemplo, una posición u orientación orbital de un retransmisor 3403 de extremo a extremo de satélite cambia debido a un cambio en el despliegue a un nuevo segmento orbital o debido a la deriva o alineación orbital, y el cambio en el área 3450 de AN se adapta a la nueva posición u orientación orbital. Los AN 515 móviles pueden moverse a nuevas posiciones dentro de la nueva área 3450b de AN. Adicionalmente, mientras que el grupo de AN móvil se muestra situado dentro de un cuerpo de agua, algunos o todos los AN 515 pueden situarse en tierra (*p. ej.*, los AN 515 móviles no necesitan situarse en un cuerpo de agua). En algunos casos, uno o más de los AN 515 pueden situarse en una nave aérea (*p. ej.*, un avión, un globo, un dron, *etc.*). También, mientras que el ejemplo actual describe una primera y una segunda áreas 3450a y 3450b de AN que son similares en tamaño en distintas localizaciones, las áreas 3450 de AN en las distintas localizaciones pueden ser (*p. ej.*, de forma significativa) distintas (*p. ej.*, debido a una diferencia en el intervalo de inclinación o de un conjunto de antena en el retransmisor de extremo a extremo). Como ejemplo, la primera y la segunda áreas 3450a y 3450b de AN pueden tener los mismos (o similares) puntos centrales, pero tamaños físicos significativamente distintos (*p. ej.*, a través de una combinación de desplazamiento de segmento de órbita y redirección de la antena de retransmisor de extremo a extremo).

Como ejemplo, el grupo de AN puede situarse inicialmente en una primera localización 3450a. Mientras que en la primera localización 3450a, cada AN 515 de el grupo de AN puede recibir una señal de transferencia específica de nodo de acceso para su transmisión a través del retransmisor 3403 de extremo a extremo a uno o más de los terminales de usuario en el área 3460 de cobertura de usuario. En aspectos, la señal directa específica de nodo de acceso puede recibirse desde un formador 529 de haces directo a través de una red 518 de distribución, que puede ser un enlace óptico de espacio libre o cualquier otro enlace adecuado. Como se ha explicado anteriormente, las señales directas específicas de nodo de acceso pueden ser ponderadas adecuadamente por el formador 529 de haces directo antes de su recepción en el AN 515. Mientras está en la primera localización 3450a, cada AN 515 puede sincronizar una señal 521 de enlace ascendente directo para la recepción en el retransmisor 3403 de extremo a extremo de modo que la señal 521 de enlace ascendente directo se alinea en tiempo y fase con otras señales 521 de enlace ascendente directo desde otros AN 515 en el grupo de AN. La sincronización puede lograrse utilizando cualquiera de las técnicas descritas en la presente memoria (*p. ej.*, utilizando balizas de retransmisor).

Posteriormente, el grupo de AN (o partes de la misma) puede moverse a una segunda localización 3450b. El movimiento puede ser en respuesta a algún estímulo (*p. ej.*, un cambio en la localización del retransmisor de extremo a extremo, patrones meteorológicos, *etc.*). En la segunda localización 3450b, los AN 515 de el grupo de AN pueden obtener señales directas específicas de nodo de acceso ponderadas (*p. ej.*, generadas utilizando una matriz de ponderación de haz actualizada determinada basándose en las nuevas localizaciones de los AN 515 dentro de la nueva área 3450b de AN), sincronizar las transmisiones y transmitir las señales 521 de enlace ascendente directo al retransmisor 3403 de extremo a extremo. Aunque se describe que se lleva a cabo en la segunda localización, una o más de estas etapas pueden llevarse a cabo antes de alcanzar la segunda localización.

En algunos casos, la localización y la forma del grupo de AN pueden configurarse para aprovechar la infraestructura de red existente. Por ejemplo, como se muestra en la Fig. 45G, el área 3450 de AN puede situarse cerca de un cable 4551 submarino existente (*p. ej.*, cable de fibra óptica utilizado en comunicaciones de red básica de Internet, *etc.*). El cable 4551 submarino puede proporcionar también una fuente de alimentación. La red 518 de distribución (*p. ej.*, entre los AN) puede incluir de forma adicional o alternativa enlaces de RF inalámbricos (*p. ej.*, enlaces de red de retorno de microondas) o

enlaces ópticos de espacio libre. En algunos ejemplos, el formador o formadores de haces, un punto de distribución para el formador de haces o la red 518 de distribución, en su conjunto, pueden situarse dentro del cuerpo de agua. Como se muestra en la Fig. 45G, una o más de las áreas 3450 de AN pueden conformarse (*p. ej.*, utilizando un reflector con forma apropiada, *etc.*) para minimizar la distancia total entre los AN 515 y el cable 4551 submarino. El ejemplo de la Fig. 45G muestra un área 3450 de AN de forma elíptica, aunque puede utilizarse cualquier forma adecuada. Además, aunque solo se muestra un área 3450 de AN en la Fig. 45G, pueden existir múltiples áreas 3450 de AN (*p. ej.*, situadas en el mismo cable submarino 4551 o en distintos cables submarinos 4551). Las múltiples áreas 3450 de AN pueden ser disjuntas o solapar al menos parcialmente.

Múltiples áreas de cobertura

En los retransmisores 3403 de extremo a extremo ilustrativos descritos anteriormente, el subsistema 3420 de antena de enlace de usuario se describe como un único subsistema de antena (*p. ej.*, con un único reflector de enlace de usuario) y el subsistema 3410 de antena de enlace alimentador se describe como un único subsistema de antena (*p. ej.*, con un único reflector de enlace alimentador). En algunos casos, el subsistema 3420 de antena de enlace de usuario puede incluir uno o más subsistemas de antena (*p. ej.*, dos o más subconjuntos de elementos de antena constituyentes) asociados a uno o más reflectores de enlace de usuario, y el subsistema 3410 de antena de enlace alimentador puede incluir uno o más subsistemas de antena asociados con uno o más reflectores de enlace alimentador. Por ejemplo, algunos retransmisores 3403 de extremo a extremo pueden tener un subsistema 3420 de antena de enlace de usuario que incluye un primer conjunto de elementos de recepción/transmisión constituyentes de enlace de usuario asociados con un primer reflector de enlace de usuario (*p. ej.*, cada elemento está configurado para iluminar, y/o iluminarse por, el primer reflector de enlace de usuario) y un segundo conjunto de elementos de recepción/transmisión constituyentes de enlace de usuario asociados con un segundo reflector de enlace de usuario. En algunos casos, los dos reflectores de enlace de usuario están en aproximadamente la misma área física (*p. ej.*, dentro del 5 %, 10 %, 25 %, *etc.*) entre ellos. En algunos casos, un reflector de enlace de usuario es significativamente más grande (*p. ej.*, un 50 % más grande, al menos dos veces el área física, *etc.*) que el otro. Cada conjunto de los elementos de recepción/transmisión constituyentes de enlace de usuario y su reflector de enlace de usuario asociado pueden iluminar un área 3460 de cobertura de usuario correspondiente distinta. Por ejemplo, las áreas de cobertura de múltiples usuarios pueden no solapar solapar parcialmente o solapar por completo (*p. ej.*, podría contenerse una cobertura de usuario más pequeña dentro de un área de cobertura de usuario más grande), *etc.* En algunos casos, las múltiples áreas de cobertura de usuario pueden estar activas (iluminadas) al mismo tiempo. Otros casos, como se describe a continuación, pueden permitir la activación selectiva de las distintas partes de elementos de recepción/transmisión constituyentes de enlace de usuario, activando de este modo distintas áreas de cobertura de usuario en distintos momentos. De forma similar, la activación selectiva de distintas partes de elementos de recepción/transmisión constituyentes del enlace alimentador puede activar distintas áreas AN 3450 en distintos momentos. La conmutación entre múltiples áreas de cobertura puede coordinarse con el CPS 505. Por ejemplo, la calibración de formación de haces, el cálculo de ponderación de haz y la aplicación de ponderación de haz pueden producirse en dos formadores de haces paralelos, uno para cada una de dos áreas de cobertura distintas. El uso de ponderaciones apropiadas en los formadores de haces pueden programarse para que corresponda a funcionamiento del retransmisor de extremo a extremo. Por ejemplo, la conmutación entre múltiples áreas de cobertura puede coordinarse para que se produzca en un límite de intervalo de tiempo si se emplean formadores de haces de intervalo de tiempo.

Las Figs. 47A y 47B muestran un ruta 4000 de señal directa y una ruta 4050 de señal de retorno ilustrativa, respectivamente, teniendo cada una activación selectiva de múltiples subsistemas 3420 de antena de enlace de usuario. La ruta 4000 de señal directa (y otras rutas de señal directa descritas en la presente memoria) puede ser un ejemplo de la ruta 3602 de señal directa descrita con referencia a la Fig. 43. La ruta 4050 de señal de retorno (y otras rutas de señal de retorno descritas en la presente memoria) puede ser un ejemplo de la ruta 3502 de señal de retorno descrita con referencia a la Fig. 42. Por ejemplo, cada ruta 4000 de señal directa puede tener un transpondedor 3430 acoplado entre elementos de antena constituyentes. En la Fig. 47A, el transpondedor 3430b de enlace directo es similar al descrito con referencia a la Fig. 44A, excepto que el lado de salida del transpondedor 3430b de enlace directo se acopla de forma selectiva a uno de dos elementos 3429 de transmisión constituyentes de enlace de usuario, cada parte de un subsistema 3420 de antena de enlace de usuario separado (*p. ej.*, cada parte de un conjunto 3425 separado de elementos 3429 de transmisión constituyentes de enlace de usuario cooperantes). Como se ha descrito anteriormente, el transpondedor 3430b de enlace directo puede incluir algunos o todos los LNA 3705a, convertidores 3710a de frecuencia y filtros asociados, amplificadores 3715a de canal, desplazadores 3720a de fase, amplificadores 3725a de potencia y filtros 3730a de armónicos.

El transpondedor 3430b de enlace directo de la Fig. 47A incluye además conmutadores 4010a (conmutadores de enlace directo) que acoplan de forma selectiva el transpondedor a un primer elemento 3429a de transmisión constituyente de enlace de usuario (de un primer conjunto 3425a de elementos de antena de enlace de usuario) a través de un primer conjunto de amplificadores 3725a de potencia y filtros 3730a de armónicos, o a un segundo elemento 3429b de transmisión constituyente de enlace de usuario (de un segundo conjunto 3425b de elementos de antena de enlace de usuario) a través de un segundo conjunto de amplificadores 3725a de potencia y filtros 3730a de armónicos. Por ejemplo, en un primer modo de conmutación, el transpondedor 3430b de enlace directo

forma de modo efectivo una ruta de señal entre un elemento 3416 de recepción constituyente de enlace alimentador y un primer elemento 3429a de transmisión constituyente de enlace de usuario; y en un segundo modo de conmutación, el transpondedor 3430b de enlace directo forma de modo efectivo una ruta de señal entre el mismo elemento 3416 de recepción constituyente de enlace alimentador y un segundo elemento 3429b de transmisión constituyente de enlace de usuario. Los conmutadores 4010a pueden implementarse utilizando cualquier medio de conmutación adecuado, tal como un conmutador electromecánico, un retransmisor, un transistor, *etc.* Aunque se muestran como conmutadores 4010a, otras implementaciones pueden utilizar cualquier otro medio adecuado para acoplar de forma efectiva la entrada del transpondedor 3430 de enlace directo a múltiples salidas. Por ejemplo, los amplificadores 3725a de potencia pueden utilizarse como conmutadores (que *p. ej.*, proporcionan alta ganancia cuando “están activados” y ganancia cero (o pérdida) cuando “están desactivados”). Los conmutadores 4010a pueden ser ejemplos de conmutadores que acoplan de forma selectiva una entrada a una de dos o más salidas.

En la Fig. 47B, el transpondedor 3440b de enlace de retorno imita funcionalmente al transpondedor 3430 de enlace directo de la Fig. 47A. En vez de acoplar de forma selectiva el lado de salida del transpondedor, como en el caso de enlace directo de la Fig. 47A, el lado de entrada del transpondedor 3440b de enlace de retorno se acopla de forma selectiva a uno de dos elementos 3426 de recepción constituyentes de enlace de usuario. De nuevo, cada elemento 3426 de recepción constituyente de enlace de usuario puede ser parte de un conjunto separado de elementos 3426 de recepción constituyentes de enlace de usuario cooperantes, que pueden ser parte del mismo subsistema 3420 de antena de enlace de usuario o distintos subsistemas 3420 de antena de enlace de usuario). Como se ha descrito anteriormente (*p. ej.*, en la Fig. 44B), el transpondedor 3440 de enlace de retorno puede incluir algunos o todos los LNA 3705b, convertidores 3710b de frecuencia y filtros asociados, amplificadores 3715b de canal, desplazadores 3720b de fase, amplificadores 3725b de potencia y filtros 3730b de armónicos.

El transpondedor 3440b de enlace de retorno de la Fig. 47B incluye además conmutadores 4010b (conmutadores de enlace de retorno) que acoplan de forma selectiva el transpondedor a un primer elemento 3426a de recepción constituyente de enlace de usuario (de un primer conjunto 3425a de elementos de antena de enlace de usuario) a través de un primer conjunto de LNA 3705b, o a un segundo elemento 3426b de recepción constituyente de enlace de usuario (de un segundo conjunto 3425b de elementos de antena de enlace de usuario) a través de un segundo conjunto de LNA 3705b. Por ejemplo, en un primer modo de conmutación, el transpondedor 3440b de enlace de retorno forma de forma efectiva una ruta de señal entre un primer elemento 3426a de recepción constituyente de enlace de usuario y un elemento 3419 de transmisión constituyente de enlace alimentador; y en un segundo modo de conmutación, el transpondedor 3440b de enlace de retorno forma de forma efectiva una ruta de señal entre un segundo elemento 3426b de recepción constituyente de enlace de usuario y el mismo elemento 3419 de transmisión constituyente de enlace alimentador. Los conmutadores 4010b pueden implementarse utilizando cualquier medio de conmutación adecuado, tal como un conmutador electromecánico, un relé, un transistor, *etc.* Aunque se muestran como conmutadores 4010b, otras implementaciones pueden utilizar cualquier otro medio adecuado para acoplar de forma efectiva la entrada del transpondedor 3440b de enlace directo a múltiples salidas. Por ejemplo, los amplificadores 3705b de potencia pueden utilizarse como conmutadores (*p. ej.*, que proporcionan alta ganancia cuando está “activado” y ganancia cero (o pérdida) cuando está “desactivado”). Los conmutadores 4010b pueden ser ejemplos de conmutadores que acoplan de forma selectiva una entrada a una de dos o más salidas.

Los ejemplos del retransmisor 3403 de extremo a extremo pueden incluir un controlador 4070 de conmutador para conmutar de forma selectiva algunos o todos los conmutadores 4010 (u otros medios de acoplamiento selectivos adecuados) según una planificación de conmutación. Por ejemplo, la planificación de conmutación puede almacenarse en un dispositivo de almacenamiento integrado en el retransmisor 3403 de extremo a extremo. En algunos casos, la planificación de conmutación selecciona de forma efectiva qué conjunto 3425 de elementos de antena de enlace de usuario activar (*p. ej.*, qué conjunto de haces de usuario iluminar) en cada uno de una pluralidad de intervalos de tiempo (*p. ej.*, periodos). En algunos casos, la conmutación asigna igual tiempo a los múltiples conjuntos 3425 de elementos de antena de enlace de usuario (*p. ej.*, cada uno de dos conjuntos se activa durante aproximadamente la mitad de tiempo). En otros casos, la conmutación puede utilizarse para realizar objetivos de compartición de capacidad. Por ejemplo, un conjunto 3425 de elementos de antena de enlace de usuario puede asociarse a usuarios de mayor demanda y puede asignarse una mayor parte de tiempo en la planificación, mientras que otro conjunto 3425 de elementos de antena de enlace de usuario puede asociarse a usuarios de menor demanda y puede asignarse una parte de tiempo más pequeña en la planificación.

Las Figs. 48A y 48B muestran un ejemplo de áreas 4100 y 4150 de cobertura de retransmisor 3403 de extremo a extremo que incluyen múltiples áreas 3460a y 3460b de cobertura de usuario activadas de forma selectiva, respectivamente. El retransmisor 3403 de extremo a extremo ilustrativo es similar al retransmisor de las Figs. 38 y 39, excepto por la presencia de distintos subsistemas de antena. En este ejemplo, el subsistema 3420 de antena de enlace de usuario incluye dos reflectores de enlace de usuario de 9 metros, y los transpondedores están configurados para activar de forma selectiva solo la mitad de las áreas 519 de cobertura de haz de usuario en cualquier momento dado (*p. ej.*, los transpondedores se implementan como en las Figs. 47A y 47B). Por ejemplo, durante un primer intervalo de tiempo, como se muestra en la Fig. 48A, el área 3460a de cobertura de usuario

incluye 590 áreas 519 de cobertura de haz de usuario activas. Las áreas 519 de cobertura de haz de usuario activas cubren de forma efectiva la mitad occidental de los Estados Unidos. El área 3450 de AN (el grupo de AN) es la misma que la de las Figs. 38 y 39: una región en el este de los Estados Unidos que tiene, *p. ej.*, 597 AN 515 distribuidos en la misma. Durante el primer intervalo de tiempo, el área 3450 de AN no solapa con el área 3460a de cobertura de usuario activa. Durante un segundo intervalo de tiempo, como se muestra en la Fig. 48B, el área 3460b de cobertura de usuario incluye otras 590 áreas 519 de cobertura de haz de usuario activas. Las áreas 519 de cobertura de haz de usuario activas en el segundo intervalo de tiempo cubren de forma efectiva la mitad oriental de los Estados Unidos. El área 3450 de AN no cambia. Sin embargo, durante el segundo intervalo de tiempo, el área 3450 de AN está completamente solapada por (es un subconjunto de) el área 3460b de cobertura de usuario activa. La capacidad puede asignarse de forma flexible a diversas regiones (*p. ej.*, entre las áreas 3460 de cobertura de usuario orientales y occidentales) ajustando dinámicamente la relación de tiempo asignado a los subsistemas 3420 de antena de enlace de usuario correspondientes.

Aunque el ejemplo anterior ilustra dos áreas 3460 de cobertura de usuario con tamaño similar, pueden proporcionarse otros números de áreas 3460 de cobertura de usuario (*p. ej.*, tres o más) y pueden ser de distintos tamaños (*p. ej.*, cobertura terrestre, solo los Estados Unidos continentales, solo los Estados Unidos, solo de forma regional, *etc.*). En los casos con múltiples áreas 3460 de cobertura de usuario, las áreas 3460 de cobertura de usuario pueden tener cualquier relación geográfica adecuada. En algunos casos, la primera y segunda áreas 3460 de cobertura de usuario solapan parcialmente (*p. ej.*, como se muestra en las Figs. 48A y 48B). En otros casos, una segunda área 3460 de cobertura de usuario puede ser un subconjunto de una primera área 3460 de cobertura de usuario (*p. ej.*, como se muestra en las Figs. 46A y 46B). En otros casos, la primera y segunda áreas 3460 de cobertura de usuario no solapan (*p. ej.*, son disjuntas).

En algunos casos, puede ser deseable que el tráfico de regiones geográficas particulares termine en sus regiones respectivas. La Fig. 50A ilustra una primera área 3450a de AN en América del Norte utilizada para proporcionar servicio de comunicaciones a una primera área 3460a de cobertura de usuario en América del Norte, y una segunda área 3450b de AN para proporcionar servicio de comunicaciones a una segunda área 3460b de cobertura de usuario en América del Sur. En algunos casos, los AN dentro de la primera área 3450a de AN intercambian señales con un primer CPS (*p. ej.*, situado dentro o cerca del área 3450a de AN), y los AN dentro del área la segunda área 3450b de AN intercambia señales con un segundo CPS (*p. ej.*, situado dentro o cerca del área 3450b de AN) que está separado y es distinto del primer CPS. Por ejemplo, el primer AN El retransmisor 3403 de extremo a extremo como se muestra en las Figs. 49A y 49B puede soportar múltiples áreas de cobertura de usuario con múltiples áreas de AN como se ilustra en la Fig. 50A. Cada combinación de área de AN y área de cobertura de usuario puede emplear asignaciones 6300 o 6301 de frecuencia como se muestra en las Figs. 63A o 63B.

La Fig. 49A muestra un ejemplo de ruta 4900 de señal directa de un retransmisor 3403 de extremo a extremo para soportar múltiples áreas de cobertura de usuario con múltiples áreas 3450 de AN. La ruta 4900 de señal directa ilustrativa tiene un primer transpondedor 3430c de enlace directo acoplado entre un primer elemento 3416a de recepción constituyente de enlace alimentador de un primer conjunto 3415a de elementos de antena de enlace alimentador y un primer elemento 3429a de transmisión constituyente de enlace de usuario de un primer conjunto 3425a de elementos de antena de enlace de usuario. Además, la ruta 4900 de señal directa ilustrativa tiene un segundo transpondedor 3430c de enlace directo acoplado entre un segundo elemento 3416b de recepción constituyente de enlace alimentador de un segundo conjunto 3415b de elementos de antena de enlace alimentador y un segundo elemento 3429b de transmisión constituyente de enlace de usuario de un segundo conjunto 3425b de elementos de antena de enlace de usuario. Como se ha descrito anteriormente, cada uno de los transpondedores 3430 de enlace directo puede incluir algunos o todos los LNA 3705a, convertidores 3710a de frecuencia y filtros asociados, amplificadores 3715a de canal, desplazadores 3720a de fase, amplificadores 3725a de potencia y filtros 3730a de armónicos.

La Fig. 49B muestra una ruta 4950 de señal de retorno ilustrativa de un retransmisor 3403 de extremo a extremo para soportar múltiples áreas de cobertura de usuario con múltiples áreas 3450 de AN. El ejemplo de ruta 4950 de señal de retorno tiene un primer transpondedor 3440c de enlace de retorno acoplado entre un primer elemento 3426a de recepción constituyente de enlace de usuario de un primer conjunto 3425a de elementos de antena de enlace de usuario y un primer elemento 3419a de transmisión constituyente de enlace alimentador de un primer conjunto 3415a de elementos de antena de enlace alimentador. Además, la ruta 4950 de señal de retorno ilustrativa tiene un segundo transpondedor 3440c de enlace de retorno acoplado entre un segundo elemento 3426b de recepción constituyente de enlace de usuario de un segundo conjunto 3425b de elementos de antena de enlace de usuario y un segundo elemento 3419b de transmisión constituyente de enlace alimentador de un segundo conjunto 3415b de elementos de antena de enlace alimentador. Como se ha descrito anteriormente, cada uno de los transpondedores 3440 de enlace de retorno puede incluir algunos o todos los LNA 3705b, convertidores 3710b de frecuencia y filtros asociados, amplificadores 3715b de canal, desplazadores 3720b de fase, amplificadores 3725b de potencia y filtros 3730b de armónicos.

En algunos casos, los conjuntos 3415a y 3415b de elementos de antena de enlace alimentador son parte de los subsistemas 3410 de antena de enlace alimentador separados. De forma alternativa, un único subsistema 3410 de

antena de enlace alimentador puede incluir ambos conjuntos 3415a y 3415b de elementos de antena de enlace alimentador (*p. ej.*, a través del uso de un único reflector como se describe con mayor detalle a continuación con referencia a las Figs. 56A y 56B). De forma similar, los conjuntos 3425a y 3425b de elementos de antena de enlace de usuario pueden ser parte de los mismos o separados subsistemas 3420 de antena de enlace de usuario. La ruta 4900 de señal directa y la ruta 4950 de señal de retorno de las Figs. 49A y 49B pueden utilizarse para soportar múltiples sistemas de formación de haces de extremo a extremo independientes utilizando una única carga útil de retransmisor de extremo a extremo. Por ejemplo, la formación de haces de extremo a extremo entre la primera área 3450a de AN y la primera área 3460a de cobertura de usuario mostrada en la Fig. 50A puede soportarse por un sistema de formador de haces y distribución, mientras que un sistema de formador y distribución de formador de haces separado e independiente soporta la formación de haces de extremo a extremo entre la segunda área 3450b de AN y la segunda área 3460b de cobertura de usuario. Las Figs. 49A y 49B ilustran ejemplos donde los elementos de recepción constituyentes pueden ser los mismos que los elementos de transmisión constituyentes y, por lo tanto, solo muestran una polarización en cada dirección. Sin embargo, otros ejemplos pueden emplear distintos elementos de recepción constituyentes y elementos de transmisión constituyentes y pueden utilizar múltiples polarizaciones en cada dirección.

Las Figs. 47A y 47B describen la selección de ruta de señal en el lado de enlace de usuario. Sin embargo, algunos casos incluyen alternativa o adicionalmente la conmutación de ruta de señal en el lado de enlace alimentador. La Fig. 51A muestra una ruta 5100 de señal directa ilustrativo que tiene activación selectiva de múltiples conjuntos 3425 de elementos de antena de enlace de usuario (que pueden ser parte de los mismos o distintos subsistemas 3420 de antena de enlace de usuario) y múltiples conjuntos 3415 de elementos de antena de enlace alimentador (que pueden ser parte de los mismos o distintos subsistemas 3410 de antena de enlace alimentador). La ruta de señal tiene un transpondedor 3430d de enlace directo acoplado entre elementos de antena constituyentes. Como se ha descrito anteriormente, el transpondedor 3430d de enlace directo puede incluir algunos o todos los LNA 3705a, convertidores 3710a de frecuencia y filtros asociados, amplificadores 3715a de canal, desplazadores 3720a de fase, amplificadores 3725a de potencia y filtros 3730a de armónicos. El lado de entrada del transpondedor 3430d de enlace directo se acopla de forma selectiva a uno de dos elementos 3416 de recepción constituyentes de enlace alimentador (*p. ej.*, utilizando los conmutadores 4010b o cualquier otro medio de selección de ruta adecuado). Cada elemento 3416 de recepción constituyente de enlace alimentador puede ser parte de un conjunto 3415 de elementos de antena de enlace alimentador separado (*p. ej.*, cada parte de un conjunto separado de elementos 3416 de recepción constituyentes de enlace alimentador cooperantes). El lado de salida del transpondedor 3430d de enlace directo se acopla de forma selectiva a uno de los dos elementos 3429 de transmisión constituyentes de enlace de usuario (*p. ej.*, utilizando los conmutadores 4010a o cualquier otro medio de selección de ruta adecuado). Cada elemento 3429 de transmisión constituyente de enlace de usuario puede ser parte de un conjunto 3425 de elementos de antena de enlace de usuario separada (*p. ej.*, cada parte de un conjunto separado de elementos 3429 de transmisión constituyentes de enlace de usuario cooperantes). Pueden incluirse uno o más controladores 4070 de conmutación (no mostrados) en el retransmisor 3403 de extremo a extremo para seleccionar entre algunas o todas las cuatro rutas de señal posibles habilitadas por el transpondedor 3430d de enlace directo. Por ejemplo, el controlador 4070 de conmutación puede operar el transpondedor 3430d de enlace directo según uno de varios modos de conmutación, que pueden determinarse según qué áreas 3450 de AN se utilizan para soportar áreas 3460 de cobertura de usuario. En un ejemplo, el controlador 4070 de conmutación aplica un primer modo de conmutación para los conmutadores 4010 para acoplar los transpondedores 3430d de enlace directo entre el primer conjunto de elementos de antena de enlace alimentador 3415a y el primer conjunto 3425a de elementos de antena de enlace de usuario, y aplica un segundo modo de conmutación para los conmutadores 4010 para acoplar los transpondedores 3430d de enlace directo entre el segundo conjunto 3415b de elementos de antena de enlace alimentador y el segundo conjunto 3425b de elementos de antena de enlace de usuario. De forma alternativa, un primer modo de conmutación para los conmutadores 4010 puede acoplar los transpondedores 3430d de enlace directo entre el primer conjunto 3415a de elementos de antena de enlace alimentador y el segundo conjunto 3425b de elementos de antena de enlace de usuario, y un segundo modo de conmutación para los conmutadores 4010 puede acoplar los transpondedores 3430d de enlace directo entre el segundo conjunto 3415b de elementos de antena de enlace alimentador y el primer conjunto 3425a de elementos de antena de enlace de usuario.

La Fig. 51B muestra un ejemplo de ruta 5150 de la señal de retorno que tiene una activación selectiva de múltiples conjuntos 3425 de elementos de antena de enlace de usuario (*p. ej.*, que pueden formar parte de los mismos o distintos subsistemas 3420 de antena de enlace de usuario) y múltiples conjuntos 3415 de elementos de antena de enlace alimentador (*p. ej.*, que pueden formar parte de los mismos o distintos subsistemas 3410 de antena de enlace alimentador). La ruta de señal tiene un transpondedor 3440d de enlace de retorno acoplado entre los elementos de antena constituyentes. Como se ha descrito anteriormente, el transpondedor 3440d de enlace de retorno puede incluir algunos o todos los LNA 3705b, convertidores 3710b de frecuencia y filtros asociados, amplificadores 3715b de canal, desplazadores 3720b de fase, amplificadores 3725b de potencia y filtros 3730b de armónicos. El lado de entrada del transpondedor 3440d de enlace de retorno se acopla de forma selectiva a uno de los dos elementos 3426a, 3426b de recepción constituyentes de enlace de usuario (*p. ej.*, utilizando los conmutadores 4010b o cualquier otro medio de selección de ruta adecuado). Cada elemento 3426a, 3426b de recepción constituyente de enlace de usuario puede ser parte de un conjunto 3425a, 3425b de elementos de antena de enlace de usuario separada (*p. ej.*, cada parte de un conjunto separado de elementos 3426 de recepción constituyentes de enlace de usuario cooperantes). El lado de salida

del transpondedor 3440d de enlace de retorno se acopla de forma selectiva a uno de dos elementos 3419a o 3419b de transmisión constituyentes de enlace alimentador (*p. ej.*, utilizando conmutadores 4010a o cualquier otro medio de selección de ruta adecuado). Cada elemento 3419a o 3419b de transmisión constituyente de enlace alimentador puede formar parte de un conjunto 3415a o 3415b de elemento de antena de enlace alimentador separada (*p. ej.*, cada parte de un conjunto separado de elementos 3419 de transmisión constituyentes de enlace alimentador cooperantes). Pueden estar incluidos uno o más controladores 4070 de conmutación (no mostrados) en el retransmisor 3403 de extremo a extremo para seleccionar entre algunas o todas las cuatro rutas de señal posibles habilitadas por el transpondedor 3440d de enlace de retorno. Por ejemplo, el controlador 4070 de conmutación puede accionar el transpondedor 3440d de enlace de retorno según uno de varios modos de conmutación, que pueden determinarse según qué áreas 3450 de AN se utilizan para soportar áreas 3460 de cobertura de usuario. En un ejemplo, el controlador 4070 de conmutación aplica un primer modo de conmutación para los conmutadores 4010 para acoplar los transpondedores 3440d de enlace de retorno entre el primer conjunto 3425a de elementos de antena de enlace de usuario y el primer conjunto 3415a de elementos de antena de enlace alimentador, y aplica un segundo modo de conmutación para los conmutadores 4010 para acoplar los transpondedores 3440d de enlace de retorno entre el segundo conjunto 3425b de elementos de antena de enlace de usuario y el segundo conjunto 3415b de elementos de antena de enlace alimentador. De forma alternativa, un primer modo de conmutación para los conmutadores 4010 puede acoplar los transpondedores 3440d de enlace de retorno entre el primer conjunto 3425a de elementos de antena de enlace de usuario y el segundo conjunto 3415b de elementos de antena de enlace alimentador, y un segundo modo de conmutación para los conmutadores 4010 puede acoplar los transpondedores 3440d de enlace de retorno entre el segundo conjunto 3425b de elementos de antena de enlace de usuario y el primer conjunto 3415a de elementos de antena de enlace alimentador.

Los transpondedores de las Figs. 47A, 47B, 51A y 51B pretenden ilustrar únicamente algunos de muchos casos posibles de retransmisores 3403 de extremo a extremo que emplean selección de ruta. Además, algunos casos pueden incluir la selección de ruta entre más de dos conjuntos 3425 de elementos de antena de enlace de usuario o subsistemas 3420 de antena de enlace de usuario y/o más de dos conjuntos 3415 de elementos de antena de enlace alimentador o subsistemas 3410 de antena de enlace alimentador.

El retransmisor 3403 de extremo a extremo como se muestra en las Figs. 51A y 51B puede soportar múltiples áreas 3460 de cobertura de usuario con múltiples áreas 3450 de AN. Como se ha explicado anteriormente, puede ser deseable que el tráfico de regiones geográficas particulares termine en sus respectivas regiones. Por ejemplo, un retransmisor 3403 de extremo a extremo con o sin transpondedores emparejados como los ilustrados en las Figs. 51A y 51B pueden utilizar una primera área 3450a de AN en América del Norte para dar servicio de comunicaciones a una primera área 3460a de cobertura de usuario en América del Norte, y utilizar una segunda área 3450b de AN para dar servicio de comunicaciones a una segunda área de cobertura de usuario 3460b en América del Sur como se ilustra en la Fig. 50A. Utilizando la selección de ruta (*p. ej.*, conmutación) en los transpondedores, un único retransmisor 3403 de extremo a extremo (*p. ej.*, un único satélite) puede dar servicio al tráfico asociado con el área 3460a de cobertura del usuario de América del Norte utilizando los AN 515 en el área 3450a de AN de América del Norte (o utilizando los AN 515 en el área 3450b de AN de América del Sur), y el tráfico de servicio asociado con el área 3460b de cobertura del usuario de América del Sur utilizando los AN 515 en el área 3450b de AN de América del Sur (o utilizando los AN 515 en el área 3450a de AN de América del Norte). La capacidad puede asignarse de forma flexible a varias regiones (*p. ej.*, entre las áreas 3460 de cobertura de usuario de América del Norte y del Sur) ajustando dinámicamente la relación de tiempo asignado a los subsistemas de antena correspondientes.

La Fig. 50B ilustra un segundo despliegue posible que tiene múltiples áreas 3450 de AN y múltiples áreas 3460 de cobertura de usuario. Por ejemplo, el despliegue mostrado en la Fig. 50B puede ser soportado por el retransmisor 3403 de extremo a extremo ilustrado por las Figs. 51A y 51B. Como se muestra en la Fig. 50B, un retransmisor 3403 de extremo a extremo con selección de ruta en los transpondedores sirve tráfico en una primera área 3460a de cobertura de usuario con una primera área 3450a de AN y sirve tráfico en una segunda área 3460b de cobertura de usuario con una segunda área 3450b de AN. Debido a que la primera área 3450a de AN no solapa con la primera área 3460a de cobertura de usuario, pueden utilizarse las mismas partes o partes solapantes de ancho de banda para comunicaciones de enlace ascendente o enlace descendente entre el retransmisor 3403 de extremo a extremo y los terminales de usuario o AN. Además, en el presente ejemplo, debido a que un área 3450a o 3450b de AN y su correspondiente área 3460a o 3460b de cobertura de usuario, respectivamente, no solapan, puede emplearse un mecanismo de bucle de retorno especial para sincronizar las transmisiones desde los AN 515. Los mecanismos de bucle de retorno ilustrativos en forma de transpondedores de bucle de retorno se explican con referencia a las Figs. 55A, 55B y 55C. Haciendo referencia a la Fig. 63A, por ejemplo, un sistema puede tener disponible un total de 3,5 GHz de ancho 6330a de banda de enlace ascendente y 3,5 GHz de ancho 6325a de banda de enlace descendente. En una primera configuración de conmutación, puede utilizarse simultáneamente el ancho de banda de enlace ascendente completo de 3,5 GHz (*p. ej.*, utilizando ambas de las dos polarizaciones ortogonales) para transmisiones 525 de enlace ascendente de retorno desde la primera área 3460a de cobertura de usuario y transmisiones 521 de enlace ascendente directo desde el área 3450a de AN. De forma similar, el ancho de banda de enlace descendente de 3,5 GHz completo (*p. ej.*, utilizando ambas dos polarizaciones ortogonales) puede utilizarse simultáneamente para transmisiones 522 de enlace descendente directo a la primera área 3460a de cobertura de usuario y transmisiones 527 de enlace descendente de retorno a la primera área 3450a de AN. El ancho de banda completo de enlace ascendente y de enlace descendente también puede utilizarse en una segunda configuración de conmutación para la segunda área 3460b de cobertura de

usuario y la segunda área 3450b de AN. Aun cuando el caso de dos áreas 3450 de AN y dos áreas 3460 de cobertura de usuario se explica con respecto a la Fig. 50B para mayor simplicidad, puede ser posible cualquier número adecuado de áreas 3450 de AN y de áreas 3460 de cobertura de usuario. Además, los aspectos explicados anteriormente con respecto a una única agrupación de AN (*p. ej.*, movilidad, localización en un cuerpo de agua, *etc.*) pueden ser aplicables a una o ambas de las grupos de AN en el presente ejemplo.

El ejemplo anterior describe un área 3450a de AN como que da servicio a un área 3460a de cobertura de usuario no solapante. Como ejemplo alternativo, el área 3450a de AN puede dar servicio al área 3460b de cobertura de usuario (*p. ej.*, un área 3460 de cobertura de usuario puede contener su área 3450 de AN asociada o alguna parte de la misma). Un ejemplo similar se explica de forma general con referencia a la Fig. 50A en el contexto de una primera área 3450a de AN situada en América del Norte (*p. ej.*, que puede corresponder a un área 3450a de cobertura de AN de la Fig. 50B) que da servicio a un área 3460a de cobertura de usuario situada en América del Norte mientras una segunda área 3450b de AN ubicada en América del Sur da servicio a un área 3460b de cobertura de usuario situada en América del Sur. Sin embargo, la Fig. 50B muestra que las áreas 3460 de cobertura de usuario atendidas por distintas áreas de cobertura de AN también pueden solapar para proporcionar un área de cobertura de usuario agregada para una región particular. En este caso, las áreas 3460 de cobertura de usuario pueden utilizarse en distintos intervalos de tiempo utilizando los transpondedores de conmutación ilustrados por las Figs. 51A y 51B. De forma alternativa, las áreas 3460a y 3460b de cobertura de usuario pueden ser servidas simultáneamente por las áreas 3450a y 3450b de nodo de acceso (ya sea con el área 3450a de nodo de acceso dando servicio a un área 3460a de cobertura de usuario mientras el área 3450b de nodo de usuario da servicio al área 3460b de cobertura de usuario o con el área 3450b de nodo de acceso dando servicio al área 3460a de cobertura de usuario mientras el área 3450a de nodo de acceso da servicio a un área 3460b de cobertura de usuario) utilizando las múltiples rutas de transpondedor mostradas en las Figs. 49A y 49B. En este caso, los recursos de enlace ascendente y de enlace descendente utilizados para haces de usuario en las áreas 3460a y 3460b de cobertura de usuario pueden ser ortogonales (recursos de frecuencia distintos, polarizaciones distintas, *etc.*), o los haces de usuario en las áreas 3460a y 3460b de cobertura de usuario pueden utilizar los mismos recursos (mismo intervalo de frecuencias y polarización), con interferencia mitigada utilizando técnicas de mitigación de interferencia, tales como codificación y modulación adaptativas (ACM), cancelación de interferencia, codificación de espacio-tiempo y similares.

Como tercer ejemplo, en algunos casos, las áreas 3450a y 3450b de cobertura de AN se combinan para dar servicio al área 3460b de cobertura de usuario (o área 3460a de cobertura de usuario). En este caso, puede no ser necesario un mecanismo de bucle de retorno especial dado que un subconjunto de los AN 515 está contenido dentro del área 3460 de cobertura de usuario. En algunos casos, pueden considerarse que los AN 515 de las áreas 3450a y 3450b de cobertura de AN cooperan en el sentido de que las señales 521 de enlace ascendente directo desde cada una de las áreas 3450 de cobertura de AN pueden combinarse para dar servicio a una única área 519 de cobertura de haz de usuario. De forma alternativa, los AN 515 de un área 3450a de cobertura de AN pueden dar servicio a un primer subconjunto de las áreas 519 de cobertura de haz de usuario del área 3460b de cobertura de usuario mientras los AN 515 del área 3450b de cobertura de AN pueden dar servicio a un segundo subconjunto de las áreas 519 de cobertura de haz de usuario del área 3460b de cobertura de usuario. En algunos casos de este ejemplo, puede haber algún solapamiento entre el primer y el segundo subconjuntos de áreas 519 de cobertura de haz de usuario (*p. ej.*, de modo que pueda considerarse que las áreas 3450 de cobertura de AN cooperan en algunas áreas 519 de cobertura de haz de usuario y no cooperan en otras). Como ejemplo adicional, el área 3450a de cobertura de AN puede dar servicio al área 3460b de cobertura de usuario en un primer intervalo de tiempo (o conjunto de intervalos de tiempo) y un área 3450b de cobertura de AN puede dar servicio al área 3460b de cobertura de usuario en un segundo intervalo de tiempo (o conjunto de intervalos de tiempo). En algunos ejemplos, las áreas 3450a y 3450b de cobertura AN pueden cooperar para dar servicio al área 3460b de cobertura de usuario durante el primer intervalo o intervalos de tiempo y pueden cooperar para dar servicio al área 3460a de cobertura de usuario durante el segundo intervalo o intervalos de tiempo.

En general, las características del retransmisor 3403 de extremo a extremo descrito en la Fig. 41 permiten el mantenimiento de al menos un área 3460 de cobertura de haz de usuario utilizando los AN 515 distribuidos geográficamente dentro de al menos un área 3450 de AN que sea un área física distinta del área 3460 de cobertura de haz de usuario. En algunos casos, un grupo o grupos de AN pueden proporcionar alta capacidad a un área 3460 de cobertura de usuario grande. Las Figs. 45A-45F, 46A, 46B, 48A, 48B, 50A y 50B muestran varios ejemplos de tales implementaciones de agrupación de AN. Desplegar grandes cantidades de AN 515 en un área geográfica relativamente pequeña puede proporcionar una serie de beneficios. Por ejemplo, puede ser más fácil asegurar que más (o incluso todos) de los AN 515 se despliegan más cerca de una red de alta velocidad (*p. ej.*, en una región con buena conectividad de fibra de vuelta al CPS 505), dentro de las fronteras de un único país o región, en áreas accesibles, *etc.*, con menos desviación de una distribución ideal de AN 515. Implementar distintas áreas de cobertura que dan servicio a la selección de ruta (*p. ej.*, como en las Figs. 47A y 47B) puede proporcionar características adicionales. Por ejemplo, como se ha descrito anteriormente, puede utilizarse un único grupo de AN (y un único retransmisor 3403 de extremo a extremo) para dar servicio de forma selectiva a múltiples áreas 3460 de cobertura de usuario. De forma similar, puede utilizarse un único retransmisor 3403 de extremo a extremo para distinguir y dar servicio a tráfico por regiones.

En algunos casos, el servicio de área de cobertura distinto con selección de ruta puede permitir diversas características de gestión de interferencias y/o de capacidades. Por ejemplo, volviendo a las Figs. 48A y 48B, pueden considerarse cuatro

categorías de enlaces de comunicaciones: comunicaciones de enlace directo desde el grupo de AN hasta el área 3460a de cobertura de usuario activa de occidental ("enlace A"); comunicaciones de enlace directo desde el grupo de AN hasta el área 3460b de cobertura de usuario activa oriental ("enlace B"); comunicaciones de enlace de retorno desde el área 3460a de cobertura de usuario activa occidental hasta el grupo de AN ("enlace C"); y comunicaciones de enlace de retorno desde el área 3460b de cobertura de usuario activa oriental hasta el grupo de AN ("enlace D"). En un primer intervalo de tiempo, el área 3460b de cobertura de usuario del oriental está activa, de modo que las comunicaciones son a través del enlace B y del enlace D. Debido a que hay un solapamiento completo entre el área 3450 de AN y el área 3460b de cobertura de usuario oriental, los enlaces B y D interfieren potencialmente. Por lo tanto, durante el primer intervalo de tiempo, al enlace B puede asignarse una primera parte del ancho de banda (*p. ej.*, 2 GHz) y al enlace D puede asignarse una segunda parte del ancho de banda (*p. ej.*, 1,5 GHz). En un segundo intervalo de tiempo, el área 3460a de cobertura de usuario occidental está activa, de modo que las comunicaciones son a través del enlace A y del enlace C. Debido a que no hay solapamiento entre el área 3450 de AN y el área 3460a de cobertura de usuario occidental, el enlace A y el enlace C pueden utilizar el ancho de banda completo (*p. ej.*, 3,5 GHz) del retransmisor 3403 de extremo a extremo durante el segundo intervalo de tiempo. Por ejemplo, durante el primer intervalo de tiempo, las señales 521 de enlace ascendente directo pueden recibirse utilizando un primer intervalo de frecuencias y las señales 525 de enlace ascendente de retorno pueden recibirse utilizando un segundo intervalo de frecuencias distinto del primer intervalo de frecuencias; y durante el segundo intervalo de tiempo, las señales 521 de enlace ascendente directo y las señales 525 de enlace ascendente de retorno pueden recibirse utilizando un mismo intervalo de frecuencias (*p. ej.*, el primer, segundo u otro intervalo de frecuencias). En algunos casos, puede haber reutilización de frecuencia durante el primer y segundo intervalos de tiempo, con otras técnicas de mitigación de interferencia utilizadas durante el primer intervalo de tiempo. En algunos casos, puede seleccionarse la temporización de selección de ruta para compensar tal diferencia en la asignación de ancho de banda durante distintos intervalos de tiempo. Por ejemplo, el primer intervalo de tiempo puede ser más largo que el segundo intervalo de tiempo, de modo que se asigna menos ancho de banda a los enlaces B y D durante más tiempo para compensar al menos parcialmente la asignación de más ancho de banda a los enlaces A y C durante un tiempo más corto. A continuación, se analizan otras asignaciones de frecuencia alternativas.

En algunos casos, las primeras señales 525 de enlace ascendente de retorno son recibidas durante el primer intervalo de tiempo por la pluralidad de elementos 3426a de recepción constituyentes de enlace de usuario cooperantes desde una primera parte de la pluralidad de terminales 517 de usuario distribuidos geográficamente en parte o toda una primera área 3460 de cobertura de usuario (*p. ej.*, el área 3460b de cobertura de usuario oriental), y las segundas señales 525 de enlace ascendente de retorno son recibidas durante el segundo intervalo de tiempo por la pluralidad de elementos 3426b de recepción constituyentes de enlace de usuario cooperantes de una segunda parte de la pluralidad de terminales 517 de usuario distribuidos geográficamente en parte o toda una segunda área 3460 de cobertura de usuario (*p. ej.*, el área 3460a de cobertura de usuario occidental). Cuando el área 3450 de AN (el grupo de AN) es un subconjunto de la primera área 3460b de cobertura de usuario (*p. ej.*, como se ilustra en la Fig. 48B), la temporización de AN 515 puede calibrarse con el retransmisor 3403 de extremo a extremo durante la primera trama de tiempo (*p. ej.*, cuando hay un solapamiento entre el área 3460b de cobertura de usuario y en el área 3450 de AN).

Como se ha descrito anteriormente, algunos casos pueden incluir la determinación de un ajuste de temporización relativo respectivo para cada uno de la pluralidad de AN 515, de forma que las transmisiones asociadas desde la pluralidad de AN 515 alcanzan al retransmisor 3403 de extremo a extremo en sincronía (*p. ej.*, con una temporización suficientemente coordinada en relación con la duración de símbolo, que de forma típica es una fracción de la duración del símbolo, tal como 10 %, 5 %, 2 % u otro valor adecuado). En tales casos, las señales 521 de enlace ascendente directo se transmiten mediante la pluralidad de AN 515 según los ajustes relativos de temporización respectivos. En algunos de tales casos, es recibida una señal de baliza de sincronización (*p. ej.*, una señal PN generada por un generador de señales de baliza, como se ha descrito anteriormente) por al menos parte de la pluralidad de AN 515 del retransmisor 3403 de extremo a extremo y los respectivos ajustes de temporización relativos se determinan según la señal de baliza de sincronización. En otros de tales casos, algunos o todos los AN 515 pueden recibir transmisiones de bucle de retorno desde el retransmisor 3403 de extremo a extremo y los respectivos ajustes de temporización relativos se determinan según las transmisiones de bucle de retorno. Los diversos enfoques para calibrar los AN 515 pueden depender de la capacidad de los AN 515 para comunicarse con el retransmisor 3403 de extremo a extremo. Por lo tanto, algunos casos pueden calibrar los AN 515 solo durante los intervalos de tiempo durante los cuales se iluminan las áreas de cobertura apropiadas. Por ejemplo, las transmisiones de bucle de retorno a través del subsistema 3420 de antena de enlace de usuario solo pueden utilizarse en intervalos de tiempo durante los cuales haya algún solapamiento entre el área 3450 de AN y el área 3460 de cobertura de usuario (*p. ej.*, los AN 515 se comunican a través de un haz de bucle de retorno que puede utilizar tanto un subsistema 3410 de antena de enlace alimentador como un subsistema 3420 de antena de enlace de usuario del retransmisor 3403 de extremo a extremo). En algunos casos, la calibración adecuada puede depender además de cierto solapamiento entre el intervalo de frecuencias de enlace descendente de alimentador y el intervalo de frecuencias de enlace descendente de usuario.

Como se ha explicado anteriormente, un retransmisor 3403 de extremo a extremo con o sin transpondedores acoplados de forma selectiva como los ilustrados en las Figs. 49A, 49B, 51A y 51B puede dar servicio a terminales de usuario dentro de una primera área 3460 de cobertura de usuario utilizando los AN 515 dentro de una primera área 3450 de AN que solapa con la primera área 3460 de cobertura de usuario (*p. ej.*, ambas en América del Norte) y dar

servicio a terminales de usuario dentro de una segunda área 3460 de cobertura de usuario utilizando los AN 515 dentro de una segunda área 3450 de AN que solapa con la segunda área 3460 de cobertura de usuario (*p. ej.*, ambas en América del Sur). De forma alternativa, un retransmisor 3403 de extremo a extremo como el de las Figs. 51A y 51B puede dar servicio a terminales de usuario dentro de una primera área 3460 de cobertura de usuario utilizando los AN 515 dentro de una primera área 3450 de AN que no se solapa con la primera área 3460 de cobertura de usuario y da servicio a terminales de usuario dentro de una segunda área 3460 de cobertura de usuario utilizando los AN 515 dentro de una segunda área 3450 de AN que no se solapa con la segunda área 3460 de cobertura de usuario, como se muestra en la Fig. 50B. Como también se muestra en la Fig. 50B, la primera y segunda áreas 3460 de cobertura de usuario pueden configurarse para solapar al menos parcialmente entre sí para proporcionar cobertura contigua a una región dada (*p. ej.*, región de CONUS, región de cobertura del hemisferio visible de la Tierra, *etc.*). También son posibles otras implementaciones similares.

El sistema explicado con referencia a la Fig. 50B puede incluir, por ejemplo, un formador 529 de haces directo que genera una señal directa específica de nodo de acceso para cada una de las pluralidades de AN 515 dentro de las áreas 3450 de AN. Cada uno de la pluralidad de AN 515 dentro de un área 3450 de AN dada puede obtener una señal directa específica de nodo de acceso desde el formador 529 de haces directo (*p. ej.*, a través de una red 518 de distribución) durante una ventana de tiempo en la que el grupo de AN dado está activo, y transmitir una señal 521 de enlace ascendente directo correspondiente al retransmisor 3403 de extremo a extremo. La ventana de tiempo en la que el grupo de AN dada está activo puede incluir uno más intervalos de tiempo, si se emplea una arquitectura de formador de haces de intervalo de tiempo como se ha descrito anteriormente.

Como se ha descrito anteriormente, el sistema puede incluir un medio para corregir previamente las señales 521 de enlace ascendente directo para compensar, *p. ej.*, retardos de ruta, desplazamientos de fase, *etc.* entre los respectivos AN y el retransmisor 3403 de extremo a extremo. En algunos casos, el formador 529 de haces directo puede realizar la corrección previa. De forma adicional o alternativa, la corrección previa puede ser realizada por los propios AN 515. Como ejemplo, cada uno de los AN 515 puede transmitir una señal de baliza de nodo de acceso al retransmisor 3403 de extremo a extremo y recibir señalización desde el retransmisor 3403 de extremo a extremo que incluye una señal de baliza de retransmisor y la señal de baliza de nodo de acceso retransmitida (*p. ej.*, retransmitida desde el retransmisor 3403 de extremo a extremo). En este ejemplo, cada AN 515 puede ajustar su señal 521 de enlace ascendente directo respectiva (*p. ej.*, puede ajustar la información de temporización y/o de fase asociada con la transmisión de señal) basándose en la señal de baliza de nodo de acceso retransmitida. Como ejemplo, el AN 515 puede ajustar la señal 521 de enlace ascendente directo para alinear en tiempo y fase la señal de baliza de nodo de acceso retransmitida con la señal de baliza de retransmisor recibida. En algunos casos, la señalización descrita en este ejemplo (*p. ej.*, la señal de baliza de nodo de acceso, la señal de baliza de retransmisor y la señal de baliza de nodo de acceso retransmitida) puede recibirse o transmitirse a través de un subsistema 3410 de antena de enlace alimentador, como se ha descrito anteriormente. Por lo tanto, en algunos casos, aunque no se muestra, el retransmisor 3403 de extremo a extremo incluye un transmisor de señal de baliza. El transmisor de señal de baliza puede implementarse como se ha descrito anteriormente con referencia al generador de señales de baliza y el módulo 424 de soporte de calibración de la Fig. 15.

Aunque las partes de la descripción anterior han explicado técnicas para la formación de haces de extremo a extremo entre una única área 3450 de AN activa (*p. ej.*, seleccionada entre dos o más áreas 3450 de AN) y una única área 3460 de cobertura de usuario activa (*p. ej.*, seleccionada entre dos o más áreas 3460 de cobertura de usuario), en algunos casos puede ser deseable tener múltiples áreas 3450 de AN distintas simultáneamente (*p. ej.*, de forma cooperativa) utilizadas para proporcionar servicio a una única área 3460 de cobertura de usuario. Se muestra un ejemplo de un sistema de este tipo con respecto a la Fig. 50C, que incluye unas áreas 3450a y 3450b de AN así como el área 3460 de cobertura de usuario.

Con referencia a la Fig. 50C, un sistema ilustrativo puede incluir múltiples grupos de AN (*p. ej.*, dos grupos de AN relativamente densos). Cada agrupación de AN puede contener múltiples AN 515 distribuidos geográficamente dentro de la respectiva área 3450 de AN, donde cada AN 515 puede funcionar para transmitir una señal 521 de enlace ascendente directo respectiva previamente corregida al retransmisor 3403 de extremo a extremo. Los múltiples grupos de AN pueden utilizarse de forma cooperativa para proporcionar servicio a los terminales 517 de usuario dentro del área 3460 de cobertura de usuario. Pueden emplearse de forma cooperativa múltiples grupos de AN utilizando una variedad de técnicas. En un ejemplo, un retransmisor 3403 de extremo a extremo puede emplear un subsistema 3410 de antena de enlace alimentador que tenga un único conjunto 3415 de elementos de antena de enlace alimentador y un reflector compuesto que ilumina las múltiples grupos de AN.

La Fig. 57 ilustra un subsistema 3410c de antena de enlace alimentador que tiene un único conjunto 3415 de elementos de antena de enlace alimentador y un reflector 5721 compuesto. Cada una de las múltiples regiones del reflector compuesto 5721 puede tener un punto 1523 focal (que puede estar a la misma o distinta distancia del reflector compuesto). Se ilustra un primer ejemplo en la Fig. 57 en la que el reflector 5721 compuesto tiene un único punto 1523a focal (o región). El conjunto 3415 de elementos de antena de enlace alimentador puede estar situado en un punto desenfocado del reflector compuesto. Como se ilustra, el conjunto 3415 de elementos de antena de enlace alimentador está situado dentro del punto focal 1523a (es decir, está más cerca del reflector 5721 del compuesto que el punto focal 1523a). De forma alternativa, el conjunto 3415 de elementos de antena de enlace

alimentador puede situarse fuera del punto focal 1523a (es decir, el conjunto 3415 de elementos de antena de enlace alimentador puede estar más lejos del reflector 5721 compuesto que el punto focal 1523a). En la Fig. 57 se ilustra un segundo ejemplo en el que el reflector 5721 compuesto tiene dos puntos focales 1523b y 1523c (o regiones focales). En el presente ejemplo, el conjunto 3415 de elementos de antena de enlace alimentador se ilustra situado dentro de los puntos focales 1523b y 1523c. De forma alternativa, el conjunto 3415 de elementos de antena de enlace alimentador puede situarse fuera de los puntos focales 1523b y 1523c. En otra realización más, el conjunto 3415 de elementos de antena de enlace alimentador puede situarse dentro de un punto focal (*p. ej.*, el punto focal 1523b) y fuera de otro punto focal (*p. ej.*, el punto focal 1523c). En algunos casos, el punto focal 1523b puede asociarse a una parte superior del reflector compuesto 5721 mientras que el punto focal 1523c se asocia a una parte inferior del reflector compuesto 5721. De forma alternativa, el punto focal 1523b puede asociarse a una parte inferior del reflector 5721 compuesto mientras que el punto focal 1523c se asocia a una parte superior del reflector compuesto 5721. El conjunto 3415 de elementos de antena de enlace alimentador puede incluir elementos 3419 de transmisión constituyentes de enlace alimentador y elementos 3416 de recepción constituyentes de enlace alimentador, que en algunos casos pueden ser los mismos elementos de antena (*p. ej.*, con distintas polarizaciones o frecuencias utilizadas para transmitir y recibir, *etc.*).

En la dirección de transmisión, la salida de los elementos 3419 de transmisión constituyentes de enlace alimentador puede reflejarse desde el reflector 5721 para formar un primer grupo 5705a de haz que ilumina una primera área 3450 de AN (*p. ej.*, el área 3450a de AN de la Fig. 50C) y un segundo grupo 5705b de haz que refleja una segunda área 3450 de AN (*p. ej.*, el área 3450b de AN de la Fig. 50C). Aunque no se muestra, en una dirección de recepción las señales de una primera área 3450a de AN y desde una segunda área 3450b de AN puede reflejarse a elementos 3416 de recepción constituyentes de enlace alimentador del conjunto 3415 de elementos de antena de enlace alimentador utilizando el reflector compuesto 5721.

Volviendo a la Fig. 50C, las múltiples áreas 3450 de AN pueden utilizarse de forma independiente o conjunta (*p. ej.*, de forma cooperativa). Por ejemplo, los AN de solo una de las áreas 3450a o 3450b de AN pueden activarse en un momento dado, y los coeficientes de formación de haces pueden generarse para formar áreas 519 de cobertura de haz de usuario dentro del área 3460 de cobertura de usuario desde los AN 515 de el grupo de AN activo. De forma alternativa, los coeficientes de formación de haces pueden generarse para formar haces de usuario dentro del área 3460 de cobertura de usuario utilizando ambos grupos de AN simultáneamente (*p. ej.*, de forma cooperativa). En la dirección directa, un formador 529 de haces directo puede aplicar los coeficientes de formación de haces (*p. ej.*, mediante un producto de matriz entre señales de haz directo y una matriz de ponderación de haz directo) para obtener una pluralidad de señales directas específicas de nodo de acceso para los AN 515 dentro de ambos grupos para generar los haces de usuario directos deseados. En la dirección de retorno, el formador 531 de haces de retorno puede obtener las señales de retorno compuestas desde los AN 515 dentro de ambos grupos y aplicar una matriz de ponderación de haz de retorno para formar las señales de haz de retorno asociadas a los haces de usuario de retorno.

En algunos casos, las áreas 3450a y 3450b de AN de pueden no solapar (*p. ej.*, ser disjuntas). De forma alternativa, las áreas 3450a y 3450b de AN pueden solapar (*p. ej.*, al menos parcialmente). Además, al menos una de las áreas 3450a y 3450b de AN puede solapar al menos parcialmente con el área 3460 de cobertura de usuario. De forma alternativa, al menos una de las áreas de AN 3450a y 3450b puede no solapar (*p. ej.*, ser disjunta) con el área 3460 de cobertura de usuario. Como se ha explicado anteriormente, en algunos casos al menos uno de los AN 515 en una o ambas áreas 3450a o 3450b de AN puede disponerse en una plataforma móvil y/o situarse en un cuerpo de agua.

Haciendo referencia a la Fig. 50B o 50C, cada una de las múltiples áreas 3450 de AN puede iluminarse utilizando un conjunto 3415 de elementos de antena de enlace alimentador separado. En algunos casos, los conjuntos 3415 de elementos de antena de enlace alimentador separados pueden utilizarse simultáneamente (*p. ej.*, pueden utilizarse de forma cooperativa múltiples áreas 3450 de AN) para soportar el servicio proporcionado a una única área 3460 de cobertura de usuario. De nuevo con referencia a la Fig. 50C, un retransmisor 3403 de extremo a extremo puede tener conjuntos 3415 de elementos de antena de enlace alimentador separados que iluminan cada una de las áreas 3450a y 3450b de AN. En algunos ejemplos, el retransmisor 3403 de extremo a extremo puede tener subsistemas 3410 de antena de enlace alimentador separados, donde cada subsistema 3410 de antena de enlace alimentador incluye un conjunto 3415 de elementos de antena de enlace alimentador y un reflector. La Fig. 56A muestra un retransmisor 3403 de extremo a extremo que tiene un subsistema 3410a de antena de enlace alimentador que incluye un primer conjunto 3415a de elementos de antena de enlace alimentador que ilumina la primera área 3450a de AN a través de un primer reflector 5621a y un segundo conjunto 3415b de elementos de antena de enlace alimentador que ilumina la segunda área 3450b de AN a través de un segundo reflector 5621b. Cada uno del primer y segundo conjuntos 3415a y 3415b de elementos de antena de enlace alimentador puede incluir elementos 3416 de recepción constituyentes de enlace alimentador y elementos 3419 de transmisión constituyentes de enlace alimentador. La Fig. 56B muestra un subsistema 3410b de antena de enlace alimentador que incluye un primer conjunto 3415a de elementos de antena de enlace alimentador y un segundo conjunto 3415b de elementos de antena de enlace alimentador que iluminan las correspondientes áreas 3450 de AN a través de un único reflector 5621. Como se ilustra en la Fig. 56B, los conjuntos 3415 de elementos de enlace alimentador pueden situarse en posiciones desenfocadas en relación con el punto 1523 focal del reflector 5621.

Aunque los conjuntos 3415 de elementos de enlace alimentador se muestran como situados más allá del punto 1523 focal del reflector 5621, de forma alternativa pueden situarse más cerca del reflector 5621 que el punto 1523 focal.

De forma similar, pueden implementarse múltiples áreas 3460 de cobertura de usuario utilizando conjuntos 3425 de elementos de antena de enlace de usuario separados con reflectores separados (similares a la Fig. 56A) o con un único reflector (similar a la Fig. 56B). Por lo tanto, las múltiples áreas 3450 de AN y múltiples áreas 3460 de cobertura de usuario en la Fig. 50B pueden desplegarse utilizando cualquier combinación de un único reflector de enlace alimentador o múltiples reflectores de enlace alimentador y un único reflector de enlace de usuario o múltiples reflectores de enlace de usuario. En otro ejemplo, puede conseguirse un despliegue similar al mostrado en la Fig. 50B con reflectores compartidos entre enlaces de alimentador y enlaces de usuario utilizando distintos bandas de frecuencias de enlace alimentador y enlace de usuario. Por ejemplo, un único conjunto de elementos de antena puede tener elementos constituyentes de enlace alimentador y elementos constituyentes de enlace de usuario (*p. ej.*, en un patrón intercalado, tal como el mostrado en la Fig. 62). El enlace alimentador puede utilizar un intervalo de frecuencias que sea más alto (*p. ej.*, más de 1,5 o 2 veces mayor) para proporcionar una ganancia más alta con un reflector común. En un ejemplo, el enlace de usuario puede utilizar un intervalo (o intervalos) de frecuencias en las bandas K/Ka (*p. ej.*, de aproximadamente 30 GHz) mientras que el enlace alimentador utiliza un intervalo o intervalos de frecuencias en las bandas V/W (*p. ej.*, de aproximadamente 60 GHz). Debido al ancho de haz más estrecho a frecuencias más altas, el área 3450 de AN que comparte el conjunto de elementos de antena común (y, por lo tanto, el reflector) será un área más pequeña (y concéntrica con) que el área de cobertura de usuario. Por lo tanto, puede utilizarse un subsistema de antena que incluya un único conjunto de elementos de antena y un reflector para iluminar el área 3450a de cobertura de usuario y el área 3450b de AN, al tiempo que puede utilizarse un segundo subsistema de antena que incluya un único conjunto de elementos de antena y un reflector para iluminar el área 3450b de cobertura de usuario y el área 3450a de AN. En otro ejemplo adicional para un despliegue similar a la Fig. 50B, un único subsistema de antena puede incluir un único reflector y dos conjuntos de elementos de antena como se muestra en la Fig. 56B, donde cada conjunto de elementos de antena incluye elementos constituyentes de enlace alimentador y elementos constituyentes de enlace de usuario.

Haciendo referencia de nuevo a la Fig. 56B, en algunos casos, el primer conjunto 3415a de elementos de antena de enlace alimentador puede acoplarse con un primer subconjunto de las múltiples rutas de señal de recepción/transmisión asociadas con el retransmisor 3403 de extremo a extremo mientras que el segundo conjunto 3415b de elementos de antena de enlace alimentador puede acoplarse con un segundo subconjunto de las múltiples rutas de señal de recepción/transmisión. Por lo tanto, un primer conjunto de señales 521 de enlace ascendente directo desde el grupo de AN que tiene un área 3450a de AN puede transportarse a través de un primer subconjunto de las múltiples rutas de señal de recepción/transmisión asociadas con el retransmisor 3403 de extremo a extremo. Adicionalmente, un segundo conjunto de señales 521 de enlace ascendente directo desde el grupo de AN que tiene un área 3450b de AN puede transportarse a través de un segundo subconjunto de las múltiples rutas de señal de recepción/transmisión. En algunos casos, el primer y el segundo conjuntos de señales de enlace ascendente directo pueden contribuir a formar un haz de usuario directo asociado a al menos una de las múltiples áreas 519 de cobertura de haz de usuario directo en el área 3460 de cobertura de usuario.

Las Figs. 52A y 52B muestran rutas de señal de recepción/transmisión directas y de retorno ilustrativo para su uso cooperativo de múltiples grupos de AN, donde cada agrupación de AN se asocia a un conjunto 3415 de elementos de antena de enlace alimentador separado. Haciendo referencia primero a la Fig. 52A, se muestra una ruta 5200 de señal directa ilustrativa. La ruta 5200 de señal directa incluye un primer transpondedor 3430e de enlace directo acoplado entre un elemento 3416a de recepción constituyente de enlace alimentador de un primer conjunto 3415a de elementos de antena de enlace alimentador y un primer elemento 3429 de transmisión constituyente de enlace de usuario de un conjunto 3425 de elementos de antena de enlace de usuario y un segundo transpondedor 3430e de enlace directo acoplado entre un elemento 3416b de recepción constituyente de enlace alimentador de un segundo conjunto 3415b de elementos de antena de enlace alimentador y un segundo elemento 3429 de transmisión constituyente de enlace de usuario del mismo conjunto 3425 de elementos de antena de enlace de usuario. Un retransmisor 3403 de extremo a extremo puede tener un primer conjunto de transpondedores 3420 de enlace directo acoplados como se muestra por el primer transpondedor 3430e de enlace directo y un segundo conjunto de transpondedores 3430 de enlace directo acoplados como muestra el segundo transpondedor 3430e de enlace directo. Por lo tanto, los elementos 3416a de recepción constituyentes de enlace alimentador del primer conjunto 3415a de elementos de antena de enlace alimentador pueden acoplarse a través de un primer conjunto de transpondedores 3430e de enlace directo a un primer subconjunto de elementos 3429 de transmisión constituyentes de enlace de usuario de un conjunto 3425 de elementos de antena de enlace de usuario, mientras que los elementos 3416b de recepción constituyentes de enlace alimentador del segundo conjunto 3415b de elementos de antena de enlace alimentador pueden acoplarse a través de un segundo conjunto de transpondedores 3430e de enlace directo a un segundo subconjunto de elementos 3429 de transmisión constituyentes de enlace de usuario del mismo conjunto 3425 de elementos de antena de enlace de usuario. El primer y segundo conjuntos de elementos 3429 de transmisión constituyentes de enlace de usuario pueden estar intercalados espacialmente (*p. ej.*, alternados en filas y/o columnas, *etc.*) dentro del conjunto 3425 de elementos de antena de enlace de usuario (*p. ej.*, como se muestra en la Fig. 62).

La Fig. 52B ilustra un ejemplo de una ruta 5250 de señal de retorno. La ruta 5250 de señal de retorno incluye un primer transpondedor 3440e de enlace de retorno acoplado entre un elemento 3426a de recepción constituyente de enlace de usuario de un conjunto 3425 de elementos de antena de enlace de usuario y un primer elemento 3419a de transmisión constituyente de enlace alimentador de un primer conjunto 3415a de elementos de antena de enlace alimentador. La ruta 5250 de señal de retorno también incluye un segundo transpondedor 3440e de enlace de retorno acoplado entre un elemento 3426b de recepción constituyente de enlace de usuario del mismo conjunto 3425 de elementos de antena de enlace de usuario y un segundo elemento 3419b de transmisión constituyente de enlace alimentador de un segundo conjunto 3415b de elementos de antena de enlace alimentador. Un retransmisor 3403 de extremo a extremo puede tener un primer conjunto de transpondedores 3440 de enlace de retorno acoplados como muestra el primer transpondedor 3440e de enlace de retorno y un segundo conjunto de transpondedores 3440 de enlace de retorno acoplados como muestra el segundo transpondedor 3440e de enlace de retorno. Por lo tanto, un primer subconjunto de los elementos 3426a de recepción constituyentes de enlace de usuario del conjunto 3425 de elementos de antena de enlace de usuario puede acoplarse a través de un primer conjunto de transpondedores 3440e de enlace de retorno al elemento 3419a de transmisión constituyente de enlace alimentador de un primer conjunto 3415a de elementos de antena de enlace alimentador, mientras que un segundo subconjunto de los elementos 3426b de recepción constituyentes de enlace de usuario del mismo conjunto 3425 de elementos de antena de enlace de usuario puede acoplarse a través de un segundo conjunto de transpondedores 3440e de enlace de retorno al elemento 3419b de transmisión constituyente de enlace alimentador de un segundo conjunto 3415b de elementos de antena de enlace alimentador. Como se ha explicado anteriormente, los elementos 3426 de recepción constituyentes de enlace de usuario y los elementos 3429 de transmisión constituyentes de enlace de usuario pueden ser los mismos elementos de antena físicos. De forma similar, los elementos 3416 de recepción constituyentes de enlace alimentador y los elementos 3419 de transmisión constituyentes de enlace alimentador de un conjunto 3415 de elementos de antena de enlace alimentador dado pueden ser los mismos elementos de antena físicos.

El primer y segundo conjuntos de elementos 3426 de recepción constituyentes de enlace de usuario pueden estar intercalados espacialmente (*p. ej.*, alternados en filas y/o columnas, *etc.*) dentro del conjunto 3425 de elementos de antena de enlace de usuario. La Fig. 62 muestra un conjunto de elementos de antena ilustrativo 6200 con subconjuntos intercalados espacialmente de elementos 6205 de antena constituyentes. Aunque cada elemento de antena constituyente 6205 se muestra como un elemento de antena circular y los subconjuntos intercalados se muestran como dispuestos en filas alternas, los elementos 6205 de antena constituyentes pueden tener cualquier forma (*p. ej.*, cuadrado, hexagonal, *etc.*) y disponerse en cualquier patrón adecuado (*p. ej.*, filas o columnas alternas, un tablero de ajedrez, *etc.*). Cada elemento 6205 de antena constituyente puede ser un ejemplo de un elemento 3416 de recepción constituyente de enlace de usuario o un elemento 3419 de transmisión constituyente de enlace de usuario, o ambos (*p. ej.*, un elemento utilizado tanto para transmitir como para recibir).

Con referencia a las Figs. 52A y 52B donde el conjunto 3425 de elementos de antena de enlace de usuario se implementa como el conjunto 6200 de elementos de antena de la Fig. 62, el primer conjunto de transpondedores 3430e de enlace directo pueden tener, cada uno, su salida acoplada con un primer conjunto de elementos 6205a de antena de enlace de usuario mientras que el segundo conjunto de transpondedores 3430e de enlace directo pueden tener cada uno su salida acoplada con uno del segundo conjunto de elementos 6205b de antena de enlace de usuario. Además, cada uno de los transpondedores 3440e de enlace de retorno del primer conjunto puede tener su entrada acoplada con uno del primer conjunto de elementos 6205a de antena de enlace de usuario, mientras que cada uno de los transpondedores 3440e de enlace de retorno del segundo conjunto puede tener su entrada acoplada con uno del segundo conjunto de elementos 6205b de antena de enlace de usuario.

En algunos casos, el retransmisor 3403 de extremo a extremo incluye un gran número de transpondedores, tales como 512 transpondedores 3430 de enlace directo y 512 transpondedores 3440 de enlace de retorno (*p. ej.*, 1.024 transpondedores en total). Por lo tanto, el primer conjunto de transpondedores 3430e de enlace directo de la Fig. 52A puede incluir 256 transpondedores y el segundo conjunto de transpondedores 3430e de enlace directo puede incluir 256 transpondedores.

En algunos casos, se proporciona soporte para el uso de múltiples grupos de AN a través de las características de los transpondedores asociados con el retransmisor 3403 de extremo a extremo. De forma alternativa o adicional, puede proporcionarse soporte para el uso de múltiples grupos de AN utilizando uno o más reflectores diseñados adecuadamente. Algunos transpondedores ilustrativos se han descrito anteriormente (*p. ej.*, con respecto a las Figs. 49A, 49B, 51A, 51B, 52A y 52B). A continuación, se explican ejemplos adicionales de diseños de transpondedor. Debe entenderse que las técnicas descritas con referencia a cualquiera de los transpondedores 3430 de enlace directo ilustrativos y los transpondedores 3440 de enlace de retorno ilustrativos pueden ser aplicables a cualquier otro transpondedor ilustrativo. Además, los componentes de los transpondedores pueden reorganizarse de cualquier forma adecuada sin desviarse del ámbito de la descripción.

Para mayor claridad, en las Figs. 49A, 49B, 52A y 52B solo se muestra una única polarización de las rutas de recepción/transmisión (*p. ej.*, un transpondedor de polarización cruzada). Por ejemplo, el transpondedor 3430 de enlace directo recibe una señal 521 de enlace ascendente directo en una frecuencia de enlace ascendente con polarización circular hacia la izquierda (LHCP) y emite una señal 522 de enlace descendente directo en una frecuencia de enlace descendente con polarización circular hacia la derecha (RHCP); y cada transpondedor 3440 de

enlace de retorno recibe una señal 525 de enlace ascendente de retorno en la frecuencia de enlace ascendente con polarización circular hacia la derecha (RHCP) y emite una señal 527 de enlace descendente de retorno en la frecuencia de enlace descendente con polarización circular hacia la izquierda (LHCP). En otros casos, algunos o todos los transpondedores pueden proporcionar un par de rutas de señal de polarización doble. Por ejemplo, los transpondedores 3430 de enlace directo y los transpondedores 3440 de enlace de retorno pueden recibir señales de enlace ascendente en la misma o diferente frecuencia de enlace ascendente con ambas polarizaciones (LHCP y RHCP) y ambas pueden emitir señales de enlace descendente de salida en la misma o diferente frecuencia de enlace descendente con ambas polarizaciones (RHCP y LHCP). Por ejemplo, tales casos pueden permitir que múltiples sistemas funcionen en paralelo utilizando cualquier tipo adecuado de técnicas de mitigación de interferencia (*p. ej.*, utilizando división de tiempo, división de frecuencia, *etc.*). En algunos casos, el retransmisor 3403 de extremo a extremo incluye un gran número de transpondedores, tales como 512 transpondedores 3430 de enlace directo y 512 transpondedores 3440 de enlace de retorno (*p. ej.*, 1.024 transpondedores en total). Otras implementaciones pueden incluir números más pequeños de transpondedores, tales como 10, o cualquier otro número adecuado. En algunos casos, los elementos de antena se implementan como estructuras de dúplex completo, de modo que cada elemento de antena de recepción comparte estructura con un respectivo elemento de antena de transmisión. Por ejemplo, cada elemento de antena ilustrado puede implementarse como dos de cuatro puertos de guía de ondas de una estructura de radiación adaptada tanto para transmisión como para recepción de señales. En algunos casos, solo los elementos de enlace alimentador, o solo los elementos de enlace de usuario, son dúplex completo. Otras implementaciones pueden utilizar distintos tipos de polarización. Por ejemplo, en algunas implementaciones, los transpondedores pueden acoplarse entre un elemento de antena de recepción y un elemento de antena de transmisión de la misma polaridad.

Tanto el transpondedor 3430 de enlace directo como el transpondedor 3440 de enlace de retorno ilustrativo pueden incluir algunos o todos los LNA 3705, convertidores 3710 de frecuencia y filtros asociados, amplificadores 3715 de canal, desplazadores 3720 de fase, amplificadores 3725 de potencia (*p. ej.*, TWTA, SSPA, *etc.*) y filtros 3730 de armónicos. En las implementaciones de polarización doble, como se muestra, cada polarización tiene su propia ruta de señal con su propio conjunto de componentes de transpondedor. Algunas implementaciones pueden tener más o menos componentes. Por ejemplo, los convertidores 3710 de frecuencia y los filtros asociados pueden ser útiles en casos donde las frecuencias de enlace ascendente y de enlace descendente son distintas. Como ejemplo, cada transpondedor 3430 de enlace directo puede aceptar una entrada en un primer intervalo de frecuencias y puede emitir en un segundo intervalo de frecuencias; y cada transpondedor 3440 de enlace de retorno puede aceptar una entrada en el primer intervalo de frecuencias y puede emitir en la segunda banda de frecuencias. De forma alternativa o adicional, cada transpondedor 3430 de enlace directo puede aceptar una entrada en un primer intervalo de frecuencias y puede emitir en un segundo intervalo de frecuencias; y cada transpondedor 3440 de enlace de retorno puede aceptar una entrada en el segundo intervalo de frecuencias y puede emitir en el primer intervalo de frecuencias.

Como ejemplo, los transpondedores de las Figs. 52A y 52B pueden implementarse en un sistema similar al de la Fig. 50C. En este ejemplo, algunos o todos los AN 515 en el área 3450a de AN pueden transmitir señales 521 de enlace ascendente directo en coordinación con algunos o todos los AN 515 en un área 3450b de AN. Las señales de enlace ascendente directo de los dos grupos de AN pueden por tanto combinarse, para dar servicio a terminales de usuario en el área 3460 de cobertura de usuario. En este ejemplo, algunos grupos de AN pueden afectar solo a algunos elementos de la antena de enlace de usuario (*p. ej.*, algunos grupos de AN pueden asociarse con un subconjunto de elementos 3416 de recepción constituyentes de enlace alimentador que pueden acoplarse a un subconjunto de elementos 3429 de transmisión constituyentes de enlace de usuario correspondiente). Aunque el ejemplo anterior explica el uso de dos grupos, también son posibles otras realizaciones que utilizan más grupos.

En la Fig. 53A se muestra otra ruta 5300 de señal directa ilustrativo. La ruta 5300 de señal directa puede incluir alguna combinación de LNA 3705a, convertidores 3710a de frecuencia y filtros asociados, amplificadores 3715a de canal, desplazadores 3720a de fase, amplificadores 3725a de potencia (*p. ej.*, TWTA, SSPA, *etc.*) y filtros 3730a de armónicos. El lado de entrada del transpondedor 3430f de enlace directo se acopla de forma selectiva a uno de los elementos 3416a o 3416b de recepción constituyentes de enlace alimentador (*p. ej.*, utilizando un conmutador 4010b o cualquier otro medio de selección de ruta adecuado). Cada elemento 3416a o 3416b de recepción constituyente de enlace alimentador puede ser parte de un conjunto 3415 de elementos de antena de enlace alimentador separado (*p. ej.*, cada parte de un conjunto 3415 separado de elementos 3416 de recepción constituyentes de enlace alimentador cooperantes). El lado de salida del transpondedor 3430f de enlace directo se acopla a un elemento 3429 de transmisión constituyente de enlace de usuario de un conjunto 3425 de elementos de antena de enlace de usuario (*p. ej.*, que forma parte de un subsistema 3420 de elemento de antena de enlace de usuario). Pueden incluirse uno o más controladores 4070 de conmutación (no mostrados) en el retransmisor 3403 de extremo a extremo para seleccionar entre algunas o todas las rutas de señal posibles permitidas por el transpondedor 3430f de enlace directo. Por lo tanto, donde el transpondedor 3430b ilustrativo de la Fig. 47A permita, por ejemplo, un acoplamiento selectivo entre un único elemento 3416 de recepción constituyente de enlace alimentador y múltiples elementos 3429 de transmisión constituyentes de enlace de usuario, el transpondedor 3430f ilustrativo de la Fig. 53A permite, por ejemplo, un acoplamiento selectivo entre múltiples elementos 3416a, 3416b de recepción constituyentes de enlace alimentador y un único elemento 3429 de transmisión constituyente de enlace de usuario.

En la Fig. 53B se muestra una ruta 5350 de señal de retorno ilustrativa. La ruta 5350 de señal de retorno puede incluir alguna combinación de LNA 3705b, convertidores 3710b de frecuencia y filtros asociados, amplificadores 3715b de canal, desplazadores 3720b de fase, amplificadores 3725b de potencia (*p. ej.*, TWTA, SSPA, *etc.*) y filtros 3730b de armónicos. El lado de salida del transpondedor 3440f de enlace de retorno se acopla de forma selectiva a uno de los elementos 3419a o 3419b de transmisión constituyentes de enlace alimentador (*p. ej.*, utilizando un conmutador 4010a o cualquier otro medio de selección de ruta adecuado). Cada elemento 3419a o 3419b de transmisión constituyente de enlace alimentador puede ser parte de un conjunto 3415 de elementos de antena de enlace alimentador separado (*p. ej.*, cada parte de un conjunto 3415 separado de elementos 3419 de transmisión constituyentes de enlace alimentador cooperantes). El lado de entrada del transpondedor 3440f de enlace de retorno se acopla a un elemento 3426 de recepción constituyente de enlace de usuario de un conjunto 3425 de elementos de antena de enlace de usuario (*p. ej.*, que es una parte de un subsistema 3420 de elemento de antena de enlace de usuario). Pueden incluirse uno o más controladores 4070 de conmutación (no mostrados) en el retransmisor 3403 de extremo a extremo para seleccionar entre algunas o todas las rutas de señal posibles habilitadas por el transpondedor 3440f de enlace de retorno. Por lo tanto, donde el transpondedor 3440b de enlace de retorno ilustrativo de la Fig. 47B permite, por ejemplo, un acoplamiento selectivo entre un único elemento 3419 de transmisión constituyente de enlace alimentador y múltiples elementos 3426 de recepción constituyentes de enlace de usuario, el transpondedor 3440f ilustrativo de la Fig. 53B permite, por ejemplo, un acoplamiento selectivo entre un único elemento 3426 de recepción constituyente de enlace de usuario y múltiples elementos 3419 de transmisión constituyentes de enlace alimentador.

Como ejemplo, el transpondedor 3430f de enlace directo de la Fig. 53A puede implementarse en un sistema similar al de la Fig. 50C. En este ejemplo, algunos o todos los AN 515 en el área 3450a de AN pueden transmitir señales 521 de enlace ascendente directo durante un primer intervalo de tiempo. Algunos o todos los AN 515 en un área 3450b de AN pueden transmitir señales 521 de enlace ascendente directo durante un segundo intervalo de tiempo. Utilizando algunos medios de selección de ruta apropiados (*p. ej.*, un conmutador), el transpondedor 3430f de enlace directo puede recibir la entrada desde un área 3450a de AN (*p. ej.*, a través del primer conjunto de elementos 3416a de recepción constituyentes de enlace alimentador cooperantes) durante el primer intervalo de tiempo y desde un área 3450b de AN (*p. ej.*, a través del segundo conjunto de elementos 3416b de recepción constituyentes de enlace alimentador cooperantes) durante el segundo intervalo de tiempo. En algunos de tales escenarios, cada área 3450 de AN puede incluir un complemento completo de los AN 515 (*p. ej.*, de modo que cada área 3450 de AN puede proporcionar una formación de haces apropiada en toda el área 3460 de cobertura de usuario).

Como ejemplo, el transpondedor 3440f de enlace de retorno de la Fig. 53B puede implementarse en un sistema similar al de la Fig. 50C. En este ejemplo, algunos o todos los AN 515 en un área 3450a de AN pueden recibir señales 527 de enlace descendente de retorno durante un primer intervalo de tiempo. Algunos o todos los AN 515 en un área 3450b de AN pueden recibir señales 527 de enlace descendente de retorno durante un segundo intervalo de tiempo. Utilizando algunos medios de selección de ruta apropiados (*p. ej.*, un conmutador), el transpondedor 3440f de enlace de retorno puede emitir al área 3450a de AN (*p. ej.*, a través del primer conjunto de elementos 3419a de transmisión constituyentes de enlace alimentador cooperantes) durante el primer intervalo de tiempo y al área 3450b de AN (*p. ej.*, a través del segundo conjunto de elementos 3419b de transmisión constituyentes de enlace alimentador cooperantes) durante el segundo intervalo de tiempo. En algunos de tales escenarios, cada área 3450 de AN puede incluir un complemento completo de los AN 515 (*p. ej.*, de modo que la única área 3450 de AN puede proporcionar una formación de haces apropiada en toda el área 3460 de cobertura de usuario).

Las Figs. 54A y 54B ilustran los transpondedores 3430g y 3440g de enlace directo y de retorno, respectivamente. Estos transpondedores son similares a los de las Figs. 51A y 51B, excepto que los componentes se han reorganizado de modo que el conmutador 4010a sigue al filtro o filtros 3730 de armónicos. Como se ha explicado anteriormente, pueden ser posibles otras reordenaciones de componentes. En algunos casos, esta disposición ilustrativa puede requerir menos amplificadores 3725 de potencia y/o filtros 3730 de armónicos. De forma similar a las Figs. 51A y 51B, tal disposición puede permitir la asociación selectiva entre grupos de AN y áreas 3460 de cobertura de usuario. Esta asociación selectiva puede permitir la asignación flexible de capacidad entre dos (o más) áreas de usuario, así como una reutilización de frecuencia entre enlaces de usuario y de alimentador (*p. ej.*, que pueden aumentar la capacidad del sistema).

Como se ha explicado anteriormente con referencia a la Fig. 46B, en algunos casos puede no haber solapamiento entre el área 3450 de AN y el área 3460 de cobertura de usuario, que puede requerir el uso de un mecanismo de bucle de retorno separado del explicado anteriormente. En algunos casos, el mecanismo de bucle de retorno separado puede incluir el uso de un transpondedor 5450 de bucle de retorno, tal como el mostrado en las Figs. 55A, 55B o 55C. En algunas realizaciones, el transpondedor 5450 de bucle de retorno puede recibir balizas de bucle de retorno de AN (*p. ej.*, balizas de bucle de retorno de AN transmitidas desde cada AN), que pueden ser ejemplos de las señales 2530 de baliza de nodo de acceso analizadas con referencia a la Fig. 38. El transpondedor 5450 de bucle de retorno puede retransmitir las señales 2530 de baliza de nodo de acceso y transmitir una baliza de satélite (*p. ej.*, que puede generarse utilizando un generador 426 de baliza de retransmisor como se ha descrito anteriormente). En algunos de los siguientes ejemplos, el lado de entrada del transpondedor 5450 de bucle de retorno se acopla a un elemento de antena de enlace alimentador. De forma alternativa, el lado de entrada del transpondedor 5450 de bucle de retorno puede

acoplarse a un elemento de antena de bucle de retorno que está separado y es distinto del conjunto o conjuntos de elementos de antena de enlace alimentador. De forma similar, en algunos de los siguientes ejemplos, el lado de salida del transpondedor 5450 de bucle de retorno se acopla a un elemento de antena de enlace alimentador o un elemento de antena de enlace de usuario. De forma alternativa, el lado de salida del transpondedor 5450 de bucle de retorno puede acoplarse a un elemento de antena de bucle de retorno distinto del conjunto o conjuntos de elementos de antena de enlace alimentador y el conjunto o conjuntos de elementos de antena de enlace de usuario, que pueden ser iguales o distintos que el elemento de antena de bucle de retorno acoplado al lado de entrada del transpondedor 5450 de bucle de retorno.

Haciendo referencia a la Fig. 55A, el transpondedor 5450a de bucle de retorno puede incluir alguna combinación de los LNA 3705c, convertidores 3710c de frecuencia y filtros asociados, amplificadores 3715c de canal, desplazadores 3720c de fase, amplificadores 3725c de potencia (*p. ej.*, TWTA, SSPA, *etc.*) y filtros 3730c de armónicos. Además, como se ilustra en la Fig. 55B, en el caso donde un retransmisor 3403 de extremo a extremo tiene múltiples conjuntos 3415 de elementos de antena de enlace alimentador, el lado de entrada del transpondedor 5450 de bucle de retorno puede acoplarse de forma selectiva a uno de un primer elemento 3416a de recepción constituyente de enlace alimentador de un primer conjunto 3415a de elementos de antena de enlace alimentador o a un segundo elemento 3416b de recepción constituyente de enlace alimentador de un segundo conjunto 3415b de elementos de antena de enlace alimentador (*p. ej.*, utilizando un conmutador 4010b o cualquier otro medio de selección de ruta adecuado). La Fig. 55A muestra el lado de salida del transpondedor 5450a de bucle de retorno ilustrativo acoplado a un elemento 3419 de transmisión constituyente de enlace alimentador. La Fig. 55B muestra el lado de salida del transpondedor 5450b de bucle de retorno ilustrativo acoplado de forma selectiva (*p. ej.*, utilizando un conmutador 4010a o cualquier otro medio de selección de ruta adecuado) a cualquiera de un elemento 3419a de transmisión constituyente de enlace alimentador o de un elemento 3419b de transmisión constituyente de enlace alimentador, que pueden ser componentes de un mismo conjunto 3415 de elementos de antena de enlace alimentador o distintos conjuntos de elementos de antena de enlace alimentador. Es decir, el elemento 3419b de transmisión constituyente de enlace alimentador puede ser un componente del mismo conjunto 3415 de elementos de antena que el elemento 3419a de transmisión constituyente de enlace alimentador y/o el elemento 3416b de recepción constituyente de enlace alimentador. Como se ilustra, el elemento 3419b de transmisión constituyente de enlace alimentador forma parte del mismo conjunto 3415b de elementos de antena que el elemento 3416b de recepción constituyente de enlace alimentador. De forma similar, el lado de entrada del transpondedor 5450b de bucle de retorno puede acoplarse de forma selectiva (*p. ej.*, utilizando un conmutador 4010b o cualquier otro medio de selección de ruta adecuado) a cualquiera de un elemento 3416a o 3416b de recepción constituyente de enlace alimentador, que pueden ser componentes de un mismo o distinto conjunto 3415 de elementos de antena de enlace alimentador. El transpondedor 5450b de bucle de retorno de la Fig. 55B puede emplearse en los casos donde el retransmisor 3403 de extremo a extremo soporta el uso selectivo de una de las múltiples áreas 3450 de nodo de acceso (*p. ej.*, como se describe en algunos ejemplos ilustrados mediante la Fig. 50B). Por lo tanto, el conmutador 4010a puede establecerse en una primera posición para proporcionar la salida del transpondedor 5450b de bucle de retorno al elemento 3419a de transmisión constituyente de enlace alimentador cuando una primera área 3450 de nodo de acceso está activa y a una segunda posición para proporcionar la salida del transpondedor 5450b de bucle de retorno al elemento 3419b de transmisión constituyente de enlace alimentador cuando una segunda área 3450 de nodo de acceso está activa. En algunos casos, puede haber dos o más elementos 3419 de transmisión constituyentes de enlace alimentador, y cada uno puede ser parte de un conjunto 3415 de elementos de antena de enlace alimentador separado (*p. ej.*, para soportar el uso selectivo de un área 3450 de nodo de acceso de dos o más áreas 3450 de nodo de acceso). Haciendo referencia a la Fig. 55B, pueden incluirse uno o más controladores 4070 de conmutación (no mostrados) en el retransmisor 3403 de extremo a extremo para seleccionar entre algunas o todas las rutas de señal posibles permitidas por el transpondedor 5450b de bucle de retorno. En algunos casos, un elemento 3416 de recepción constituyente de enlace alimentador y un elemento 3419 de transmisión constituyente de enlace alimentador pueden estar asociados a las mismas estructuras físicas, como se ha descrito anteriormente. En algunos casos, los AN 515 pueden ser capaces de sincronizar las transmisiones basándose en una comparación de las señales 2530 de baliza de nodo de acceso retransmitidas y la baliza de satélite (*p. ej.*, las transmisiones desde los AN 515 dentro de una o más grupos de AN pueden alinearse en tiempo y fase basándose en la comparación).

En algunos casos, el intervalo de frecuencias de enlace alimentador puede ser distinto del intervalo de frecuencias de enlace de usuario. Cuando el intervalo de frecuencias de enlace descendente de enlace alimentador no se solapa con el intervalo de frecuencias de enlace descendente de enlace de usuario, los transpondedores que se trasladan desde el intervalo de frecuencias de enlace ascendente de enlace alimentador al intervalo de frecuencias de enlace descendente de enlace de usuario (*p. ej.*, utilizando un convertidor 3710 de frecuencia) no pueden utilizarse para retransmitir las señales de baliza de nodo de acceso (*p. ej.*, debido a que los AN no pueden recibir y procesar el intervalo de frecuencias de enlace descendente de enlace de usuario). En tales casos, el transpondedor 5450 de bucle de retorno puede resolver el problema trasladando las señales de haz de nodo de acceso desde el intervalo de frecuencias de enlace ascendente de enlace alimentador al intervalo de frecuencias de enlace descendente de enlace alimentador. Por ejemplo, las comunicaciones de enlace alimentador (*p. ej.*, las señales 521 de enlace ascendente directo y las señales 527 de enlace descendente de retorno) pueden estar en un primer intervalo de frecuencias (*p. ej.*, un intervalo de frecuencias dentro de la banda V/W) y las comunicaciones de enlace de usuario (*p. ej.*, las señales 522 de enlace descendente directo y las señales 525 de enlace ascendente de retorno) pueden

estar en un segundo intervalo de frecuencias (*p. ej.*, un intervalo de frecuencias dentro de la banda K/Ka). Por lo tanto, incluso donde el área 3450 de AN solapa con el área 3460 de cobertura de usuario, los AN 515 pueden no ser capaces de recibir señales de bucle de retorno de AN retransmitidas a través de las rutas de señal de recepción/transmisión (*p. ej.*, los transpondedores 3430 directos y/o los transpondedores 3440 de retorno) del retransmisor 3403 de extremo a extremo.

La Fig. 55C muestra un transpondedor 5450c de bucle de retorno ilustrativo que recibe todas las señales de bucle de retorno de AN en el intervalo de frecuencias de enlace ascendente de enlace alimentador y retransmite las señales de bucle de retorno de AN en el intervalo de frecuencias de enlace descendente de enlace alimentador. El transpondedor 5450c de bucle de retorno puede utilizarse en cualquiera de los despliegues de grupos de nodos de acceso anteriores donde el área 3450 de nodo de acceso no solapa con el área 3460 de cobertura de usuario (*p. ej.*, al menos algunos de los despliegues analizados con las Figs. 45C, 45E, 45F, 45G o 50B). El intervalo de frecuencias de enlace ascendente de enlace alimentador y el intervalo de frecuencias de enlace descendente de enlace alimentador pueden ser parte de la misma banda (*p. ej.*, banda K/Ka, banda V, *etc.*) o distintas bandas. Las señales de bucle de retorno de AN pueden recibirse a través del elemento 3455 de antena, que puede ser parte de un conjunto 3415 de elementos de antena de enlace alimentador o puede ser un elemento de antena de bucle de retorno separado. Las señales de bucle de retorno de AN retransmitidas pueden transmitirse a través del mismo elemento 3455 de antena, como se muestra, o un elemento de antena distinto, en algunos casos. El transpondedor 5450c de bucle de retorno incluye un convertidor 5460 de frecuencia de bucle de retorno, que puede convertir las señales de bucle de retorno de AN de una frecuencia de portadora dentro del intervalo de frecuencias de enlace ascendente de enlace alimentador a una frecuencia de portadora distinta dentro del intervalo de frecuencias de enlace descendente de enlace alimentador. El transpondedor 5450c de bucle de retorno puede contener además uno o más de los LNA 3705c, amplificadores 3715 de canal (no ilustrados), desplazadores 3720 de fase (no ilustrados), amplificadores 3725c de potencia y filtros de armónicos (no ilustrados).

Haciendo referencia de nuevo al sistema 3400 de formación de haces de extremo a extremo ilustrativo de la Fig. 41, pueden modificarse aspectos del sistema 3400 para soportar el funcionamiento cooperativo de múltiples grupos de AN que utilizan distintos intervalos de frecuencia. Las Figs. 59A y 59B ilustran ejemplos de posibles áreas de cobertura geográficas para múltiples áreas 3450 de nodo de acceso, funcionando cada una en un intervalo de frecuencias distinto, a utilizar de forma cooperativa en la formación de haces de extremo a extremo para un área 3460 de cobertura de usuario. En el ejemplo ilustrado en la Fig. 59A, el área 3450a de AN puede asociarse a transmisiones de banda Ka mientras que el área 3450b de AN puede asociarse a transmisiones de banda V. Como se muestra en la Fig. 59A, las áreas 3450a y 3450b de AN pueden ser disjuntas. En algunos casos, el área 3450b de AN asociada a las transmisiones de banda V puede ser más pequeña (*p. ej.*, puede cubrir un área geográfica más pequeña) que el área 3450a de AN asociada a las transmisiones en banda Ka. En algunos casos, el área 3450a de AN y el área 3450b de AN pueden iluminarse mediante conjuntos 3415 de elementos de antena de enlace alimentador separados. Por ejemplo, el área 3450a de AN puede iluminarse por el primer conjunto 3415a de elementos de antena de enlace alimentador y el área 3450b de AN puede iluminarse por el segundo conjunto 3415b de elementos de antena de enlace alimentador del subsistema 3410b de antena de enlace alimentador mostrado en la Fig. 56B. Como con el ejemplo de la primera agrupación de AN en el área 3450a de nodo de acceso que funciona en la banda Ka, mientras que la segunda agrupación de AN en el área 3450b de nodo de acceso está funcionando en la banda V, el área 3450b de nodo de acceso puede dimensionarse según la diferencia de ganancia proporcionada por el único reflector (*p. ej.*, que puede ser un ejemplo del reflector 5621 de la Fig. 56B) en los distintos intervalos de frecuencia. De forma alternativa, los conjuntos 3415 de elementos de antena de enlace alimentador separados que iluminan el área 3450a de AN y el área 3450b de AN pueden ser iluminados por reflectores separados (*p. ej.*, que pueden ser ejemplos de los reflectores 5621 explicados con referencia a la Fig. 56A) que pueden ser de los mismos o distintos tamaños. De forma alternativa, el área 3450a de AN y el área 3450b de AN pueden iluminarse por el mismo conjunto 3415 de elementos de antena de enlace alimentador que tienen múltiples conjuntos de elementos 3416, 3419 de antena de enlace alimentador con un reflector 5721 compuesto como se muestra en la Fig. 57. Los distintos intervalos de frecuencias para distintos grupos de AN pueden proporcionar un mayor aislamiento de distintos subconjuntos de elementos de enlace alimentador dentro de un único conjunto de elementos de antena de enlace alimentador, lo que puede dar lugar a una mayor capacidad de sistema que múltiples grupos de AN que funcionan en el mismo intervalo de frecuencias.

La Fig. 59B ilustra una disposición alternativa de múltiples grupos de AN que utilizan intervalos de frecuencias separados utilizados de forma cooperativa. Como se ilustra en la Fig. 59B, los dos grupos de AN pueden solapar al menos parcialmente (o una puede estar completamente contenida dentro de la otra como se muestra). La Fig. 59B puede ilustrar ejemplos donde un único conjunto 3415 de elementos de antena de enlace alimentador puede iluminar el área 3450a de cobertura de AN y el área 3450b de cobertura de AN (*p. ej.*, recibir o transmitir señales a ambas áreas de cobertura en distintos intervalos de frecuencias). En algunos casos, un AN 515 determinado (*p. ej.*, uno situado dentro del área 3450b de cobertura de AN) puede asociarse a múltiples grupos de AN y comunicarse a través de enlaces de alimentador en múltiples intervalos de frecuencia (*p. ej.*, que pueden estar contenidos en distintas bandas de frecuencia).

Las Figs. 60A y 60B ilustran rutas de señal de recepción/transmisión ilustrativo que soportan grupos de AN cooperantes que funcionan en distintos intervalos de frecuencias según aspectos de la presente descripción. La ruta 6000 de señal

de recepción/transmisión directa de la Fig. 60A incluye transpondedores 3430h de enlace directo acoplados entre elementos 3416a de recepción constituyentes de enlace alimentador y elementos 3429a de transmisión constituyentes de enlace de usuario y transpondedores 3430i de enlace directo acoplados entre elementos 3416b de recepción constituyentes de enlace alimentador y elementos 3429b de transmisión constituyentes de enlace de usuario. Como se ha descrito anteriormente, los diversos elementos de antena de enlace de usuario pueden ser parte de distintos conjuntos 3425 de elementos de antena de enlace de usuario, que pueden colocarse para proporcionar áreas 3450 de nodo de acceso no solapantes como se muestra en la Fig. 59A o áreas 3450 de nodo de acceso solapantes como se muestra en la Fig. 59B. De forma alternativa, los diversos elementos de antena de enlace de usuario pueden ser parte del mismo conjunto 3415 de elementos de antena de enlace alimentador, en cuyo caso las áreas 3450 de nodo de acceso se solapan como se muestra en la Fig. 59B. Los elementos 3416a de recepción constituyentes de enlace alimentador y los elementos 3416b de recepción constituyentes de enlace alimentador pueden intercalarse dentro del mismo conjunto 3415 de elementos de antena de enlace alimentador como se ilustra en la Fig. 62.

Como se ha descrito anteriormente, el transpondedor 3430h de enlace directo puede incluir algunos o todos los LNA 3705a, convertidores 3710h de frecuencia y filtros asociados, amplificadores 3715a de canal, desplazadores 3720a de fase, amplificadores 3725a de potencia y filtros 3730a de armónicos. De forma similar, el transpondedor 3430i de enlace directo puede incluir algunos o todos los LNA 3705a, convertidores 3710i de frecuencia y filtros asociados, amplificadores 3715a de canal, desplazadores 3720a de fase, amplificadores 3725a de potencia y filtros 3730a de armónicos. En algunos casos, el convertidor 3710h de frecuencia puede funcionar para convertir señales de un primer intervalo de frecuencias de enlace ascendente de enlace alimentador a un intervalo de frecuencias de enlace descendente de enlace de usuario, mientras que el convertidor 3710i de frecuencia funciona para convertir señales de un segundo intervalo de frecuencias de enlace ascendente de enlace alimentador al mismo intervalo de frecuencias de enlace descendente de enlace de usuario.

La ruta 6050 de señal de recepción/transmisión de retorno de la Fig. 60B incluye el transpondedor 3440h de enlace de retorno acoplado entre un elemento 3426a de recepción constituyente de enlace de usuario y un elemento 3419a de transmisión constituyente de enlace alimentador correspondiente y el transpondedor 3440i de enlace de retorno acoplado entre un elemento 3426b de recepción constituyente de enlace de usuario y un elemento 3419b de transmisión constituyente de enlace alimentador correspondiente. Como se ha descrito anteriormente, el transpondedor 3440h de enlace de retorno puede incluir algunos o todos los LNA 3705b, convertidores 3710j de frecuencia y filtros asociados, amplificadores 3715b de canal, desplazadores 3720b de fase, amplificadores 3725b de potencia y filtros 3730b de armónicos. De forma similar, el transpondedor 3440i de enlace de retorno puede incluir algunos o todos de los convertidores 3710k de frecuencia y filtros asociados de LNA 3705b, amplificadores 3715b de canal, desplazadores 3720b de fase, amplificadores 3725b de potencia y filtros 3730b de armónicos. En algunos casos, el convertidor 3710j de frecuencia puede funcionar para convertir señales desde un intervalo de frecuencias de enlace ascendente de enlace de usuario a un primer intervalo de frecuencias de enlace descendente de enlace alimentador (*p. ej.*, que puede ser el mismo intervalo que el primer intervalo de frecuencias de enlace ascendente de enlace alimentador descrito con referencia a la Fig. 60A), mientras que el convertidor 3710k de frecuencia funciona para convertir señales desde el intervalo de frecuencias de enlace ascendente de enlace de usuario a un segundo intervalo de frecuencias de enlace descendente de enlace alimentador (*p. ej.*, que puede ser el mismo intervalo que el segundo intervalo de frecuencias de enlace ascendente de enlace alimentador descrito con referencia a la Fig. 60A).

Como se ha descrito anteriormente, los diversos elementos de antena de enlace de usuario pueden formar parte del mismo o distintos conjuntos 3425 de elementos de antena de enlace de usuario y los diversos elementos de antena de enlace alimentador pueden formar parte de los mismos o distintos conjuntos 3415 de elementos de antena de enlace alimentador. Los elementos 3419a de transmisión constituyentes de enlace alimentador y los elementos 3419b de transmisión constituyentes de enlace alimentador pueden intercalarse dentro del mismo conjunto 3415 de elementos de antena de enlace alimentador como se ilustra en la Fig. 62. Donde las frecuencias soportadas para los enlaces de alimentador por los transpondedores 3430h y 3430i de enlace directo y los transpondedores 3440h y 3440i de enlace de retorno son sustancialmente distintos (*p. ej.*, siendo una diferente en más de 1,5x de la otra, *etc.*), los distintos subconjuntos de los elementos 6205a, 6205b del conjunto 6200 de elementos de antena pueden dimensionarse apropiadamente para los distintos intervalos de frecuencias soportados (*p. ej.*, los elementos 6205b de antena constituyentes que soportan un intervalo de frecuencias más alto que los elementos 6205a de antena constituyentes pueden tener guías de onda/bocinas más pequeñas, *etc.*).

La Fig. 64A ilustra un ejemplo de asignación 6400 de espectro de frecuencia con cuatro intervalos de frecuencia mostrados (intervalos de frecuencia 6425a, 6430a, 6435a y 6436a). En el ejemplo ilustrado, los intervalos 6425a y 6430a de frecuencia son intervalos de frecuencia dentro de las bandas K/Ka (*p. ej.*, entre 17 GHz y 40 GHz) mientras que los intervalos 6435a y 6436a de frecuencias están dentro de las bandas V/W (*p. ej.*, entre 40 GHz y 110 GHz). La Fig. 64A puede ilustrar el funcionamiento de múltiples grupos de AN que funcionan sobre distintos intervalos de frecuencias como se muestra en las Figs. 59A y 59B.

Como ejemplo, la asignación 6400 de espectro de frecuencia puede utilizarse en el escenario ilustrado en la Fig. 59A utilizando un retransmisor 3403 de extremo a extremo que tiene rutas 6000 y 6050 de señal de recepción/transmisión directas y de retorno como se muestra en las Figs. 60A y 60B. Las señales 6440a de enlace ascendente directo, por ejemplo, desde un área 3450a de AN, se transmiten en el intervalo 6430a de

frecuencias (*p. ej.*, utilizando RHCP) mientras que las señales 6440b de enlace ascendente directo, por ejemplo, del área 3450b de AN, se transmiten en el intervalo 6436a de frecuencias (*p. ej.*, utilizando RHCP). El primer conjunto de señales 6440a de enlace ascendente directo puede ser recibido por elementos 3416a de recepción constituyentes de enlace alimentador mientras el segundo conjunto de señales 6440b de enlace ascendente directo puede ser recibido por los elementos 3416b de recepción constituyentes de enlace alimentador. Para mayor simplicidad, las señales pueden ilustrarse mediante su tramo en partes o en la totalidad de un intervalo de frecuencias (*p. ej.*, la señal 6440a de enlace ascendente directo muestra el tramo de frecuencia de un ejemplo de la señal 521 de enlace ascendente directo dentro del intervalo 6430a de frecuencias). En algunos casos, una señal dada puede abarcar uno o más intervalos de frecuencia. Como se explica con referencia a la Fig. 60A, los dos conjuntos de señales 6440 de enlace ascendente directo son convertidos en frecuencias por los transpondedores 3430h y 3430i de enlace directo (*p. ej.*, se convierten de forma descendente al mismo intervalo 6425a de frecuencias en la banda Ka). Posteriormente, las salidas de los transpondedores 3430h de enlace directo son transmitidos por los elementos 3429a de transmisión constituyentes de enlace de usuario como un primer conjunto de señales 6445a de enlace descendente directo, mientras que las salidas de los transpondedores 3430i de enlace directo son transmitidas por elementos 3429b de transmisión constituyentes de enlace de usuario como un segundo conjunto de señales 6445b de enlace descendente directo. En el presente ejemplo, estos elementos 3429a, 3429b de transmisión constituyentes de enlace de usuario pertenecen al mismo conjunto 3425 de elementos de antena de enlace de usuario e iluminan la misma área 3460 de cobertura de usuario. Por lo tanto, los AN 515 en las áreas 3450a y 3450b de nodo de acceso pueden referirse como que cooperan en que alguna fracción de los AN 515 en cada área se combina para dar servicio a la misma área 3460 de cobertura de usuario. Es decir, al menos un haz de usuario directo con formación de haces que proporciona servicio a los terminales 517 de usuario dentro de la correspondiente área 519 de cobertura de haz de usuario puede formarse a partir de las señales 6440a de enlace ascendente directo desde al menos un subconjunto de los AN 515 en la primera área 3450a de nodo de acceso y desde las señales 6440b de enlace ascendente directo de al menos un subconjunto de los AN 515 en la segunda área 3450b de nodo de acceso.

La asignación 6400 de espectro de frecuencia también ilustra un ejemplo de asignación de frecuencia para transmisiones de enlace de retorno para el escenario ilustrado en la Fig. 59A utilizando un retransmisor 3403 de extremo a extremo que tiene rutas 6000 y 6050 de señal de recepción/transmisión directas y de retorno como se muestra en las Figs. 60A y 60B. Las señales 6450 de enlace ascendente de retorno (*p. ej.*, señales de LHCP) que se originan desde los terminales 517 de usuario distribuidos por toda el área 3460 de cobertura de usuarios se transmiten en el intervalo 6430a de frecuencias (*p. ej.*, utilizando LHCP) y se reciben por los elementos 3426a y 3426b de recepción constituyentes de enlace de usuario de la Fig. 60B, donde los elementos 3426a y 3426b de recepción constituyentes de enlace de usuario pertenecen al mismo conjunto 3425 de elementos de antena de enlace de usuario. Como se describe con referencia a la Fig. 60B, las señales 6450 de enlace ascendente de retorno pueden alimentarse a los transpondedores 3440h y 3440i de enlace de retorno y convertirse en frecuencia a los intervalos 6425a (*p. ej.*, utilizando RHCP) y 6435a (*p. ej.*, utilizando LHCP) de frecuencia apropiados, respectivamente. Las señales 6455a y 6455b convertidas en frecuencia son transmitidas entonces por los elementos 3419a y 3419b de transmisión constituyentes de enlace alimentador (*p. ej.*, que pertenecen a conjuntos 3415a y 3415b de elementos de antena de enlace alimentador separados, respectivamente) a los AN 515, por ejemplo en las áreas 3450b y 3450a de nodo de acceso, respectivamente. Debe entenderse que la asignación 6400 de frecuencia es un ejemplo y pueden utilizarse varias otras asignaciones de frecuencia. Por ejemplo, las señales 6450 de enlace ascendente de retorno pueden estar en un intervalo de frecuencias distinto (*p. ej.*, un intervalo de frecuencias distinto dentro de la banda K/Ka) de las señales 6440a de enlace ascendente directo y las señales 6445 de enlace descendente directo pueden estar en un intervalo de frecuencias distinto (*p. ej.*, un intervalo de frecuencias distinto dentro de la banda K/Ka) de las señales 6455a de enlace descendente de retorno. Esto puede permitir, por ejemplo, el uso de transpondedores de polarización doble en las rutas 6000 y 6050 de señal de recepción/transmisión directas y de retorno. De forma alternativa o adicional, las señales 6440b de enlace ascendente directo pueden asignarse dentro de un intervalo de frecuencias distinto (*p. ej.*, un intervalo de frecuencias distinto dentro de la banda V) de las señales 6455b de enlace descendente de retorno, como se ilustra. También pueden considerarse otras disposiciones de las señales de enlace descendente/enlace ascendente directo y enlace descendente/enlace ascendente de retorno dentro de los distintos intervalos de frecuencias. Por ejemplo, las señales de enlace ascendente de retorno pueden asignarse dentro del mismo intervalo de frecuencias que las señales de enlace descendente directo (*p. ej.*, utilizando una polarización ortogonal). De forma adicional o alternativa, las señales 6440a de enlace ascendente directo desde los AN en la primera área 3450a de nodo de acceso pueden asignarse dentro del mismo intervalo de frecuencias que las señales 6455a de enlace descendente de retorno (*p. ej.*, utilizando una polarización ortogonal). Acoplar las rutas 6000 y 6050 de señal de recepción/transmisión directas y de retorno a los diversos elementos de transmisión/recepción constituyentes del enlace de usuario y del enlace alimentador puede seleccionarse según la asignación de intervalo de frecuencias deseada.

En algunos ejemplos de un único conjunto 3415 de elementos de antena de enlace alimentador que soporta múltiples grupos de AN tales como los múltiples grupos de AN ilustradas en la Fig. 59B, cada elemento 3416 de recepción constituyente de enlace alimentador y el elemento 3419 de transmisión constituyente de enlace alimentador pueden acoplarse con múltiples transpondedores 3430 de enlace directo. Las Figs. 61A y 61B ilustran rutas de señal de recepción/transmisión ilustrativo que soportan grupos de AN cooperantes que funcionan en distintos intervalos de frecuencias según aspectos de la presente descripción. La ruta 6100 de señal de recepción/transmisión directa de la

Fig. 61A incluye múltiples transpondedores 3430 de enlace directo acoplados entre un elemento 3416 de recepción constituyente de enlace alimentador y múltiples elementos 3429 de transmisión constituyentes de enlace de usuario. En algunos ejemplos, un elemento 3416 de recepción constituyente de enlace alimentador recibe un compuesto de señales 521 de enlace ascendente directo desde los AN 515 en múltiples áreas 3450 de AN. Después de la recepción por un elemento 3416 de recepción constituyente de enlace alimentador, las señales de enlace ascendente directo pueden dividirse (*p. ej.*, utilizando un divisor 6005) y las señales divididas pueden servir como entradas para los transpondedores 3430j y 3430k de enlace directo. En algunos ejemplos, el divisor 6005 divide las señales basándose en intervalos de frecuencias (*p. ej.*, de modo que las señales de enlace ascendente directo recibidas que ocupan un primer intervalo de frecuencias se alimenten al transpondedor 3430j de enlace directo y las señales de enlace ascendente directo recibidas que ocupan un segundo intervalo de frecuencias se alimenten al transpondedor 3430k de enlace directo). En un escenario de este tipo, el divisor 6005 puede ser de forma alternativa un ejemplo de un filtro. Por lo tanto, los convertidores 3710d y 3710e de frecuencia pueden funcionar para aceptar entradas en distintos intervalos de frecuencias y emitir señales en el mismo intervalo de frecuencias para superposición en las señales 522 de enlace descendente de usuario.

En la Fig. 61B se muestra una ruta 6150 de señal de recepción/transmisión de retorno en la que los transpondedores 3440 de enlace de retorno acoplan múltiples elementos 3426a y 3426b de recepción constituyentes de enlace de usuario a un único elemento 3419 de transmisión constituyente de enlace de usuario. Los elementos 3426a y 3426b de recepción constituyentes de enlace de usuario pueden ser partes del mismo conjunto 3425 de elementos de antena de enlace de usuario o conjuntos 3425a y 3425b de elementos de antena de enlace de usuario separados (como se muestra). El elemento 3426a de recepción constituyente de enlace de usuario puede actuar como entrada para el transpondedor 3440j de enlace de retorno, mientras que el elemento 3426b de recepción constituyente de enlace de usuario puede actuar como entrada para el transpondedor 3440k de enlace de retorno. Las salidas de los transpondedores 3440 de enlace de retorno pueden alimentarse al combinador 6010 de señales antes de ser transmitidas por el elemento 3419 de transmisión constituyente de enlace alimentador a los AN 515 en las áreas 3450 de AN. En algunos casos, los componentes de las rutas 6000 y 6050 de señal de recepción/transmisión pueden reorganizarse (u omitirse), *p. ej.*, de modo que el combinador 6010 de señales pueda seguir los filtros 3430b de armónicos, el divisor 6005 pueda preceder a los LNA 3705a, *etc.*

La Fig. 64B ilustra una asignación 6401 de espectro de frecuencia ilustrativo con cuatro intervalos de frecuencias mostrados (intervalos de frecuencia 6425b, 6430b, 6435b y 6436b). En el ejemplo ilustrado, los intervalos 6425b y 6430b de frecuencias son intervalos de frecuencias dentro de las bandas K/Ka (*p. ej.*, entre 17 GHz y 40 GHz) mientras que los intervalos 6435b y 6436b de frecuencias están dentro de las bandas V/W (*p. ej.*, entre 40 GHz y 110 GHz). Por ejemplo, los intervalos 6425b, 6430b, 6435b y 6436b de frecuencias pueden ser los mismos que los intervalos 6425a, 6430a, 6435a y 6436a de frecuencias ilustrados en la Fig. 64A. La Fig. 64B puede ilustrar el funcionamiento de múltiples grupos de AN que funcionan en distintos intervalos de frecuencias como se muestra en las Figs. 59A o 59B.

Como ejemplo, la asignación 6401 de espectro de frecuencia puede utilizarse en el escenario ilustrado en la Fig. 59B utilizando un retransmisor 3403 de extremo a extremo que tiene las rutas 6100 y 6150 de señal de recepción/transmisión directas y de retorno como se muestra en las Figs. 61A y 61B. Las señales 6440c de enlace ascendente directo, por ejemplo, de un área 3450a de AN, se transmiten en el intervalo 6430b de frecuencias (*p. ej.*, utilizando RHCP) mientras que las señales 6440d de enlace ascendente directo, por ejemplo, de un área 3450b de AN, se transmiten en el intervalo 6436b de frecuencias (*p. ej.*, utilizando RHCP). El primer conjunto de señales de enlace ascendente directo 6440c puede ser recibido por los elementos 3416a de recepción constituyentes de enlace alimentador, mientras que el segundo conjunto de señales 6440d de enlace ascendente directo puede ser recibido por los elementos 3416b de recepción constituyentes del enlace alimentador de las rutas 6100 de señal de recepción/transmisión directa. Como se explica con referencia a la Fig. 61A, los dos conjuntos de señales 6440 de enlace ascendente directo se convierten en frecuencia mediante los transpondedores 3430j y 3430k de enlace directo (*p. ej.*, se convierten de forma descendente en el mismo intervalo 6425b de frecuencias en la banda Ka). Posteriormente, las salidas de los transpondedores 3430j de enlace directo son transmitidas por los elementos 3429a de transmisión constituyentes de enlace de usuario como un primer conjunto de señales 6445c de enlace descendente directo, mientras que las salidas de los transpondedores 3430k de enlace directo son transmitidas por los elementos 3429b de transmisión constituyentes de enlace de usuario como un segundo conjunto de señales 6445d de enlace descendente directo. En el presente ejemplo, estos elementos 3429a, 3429b de transmisión constituyentes de enlace de usuario pertenecen al mismo conjunto 3425 de elementos de antena de enlace de usuario e iluminan la misma área 3460 de cobertura de usuario. Por lo tanto, los AN 515 en las áreas 3450a y 3450b de nodo de acceso pueden referirse como que cooperan en que alguna fracción de los AN 515 en cada área se combina para dar servicio a la misma área 3460 de cobertura de usuario. Es decir, al menos un haz de usuario directo con formación de haces que proporciona servicio a los terminales 517 de usuario dentro de la correspondiente área 519 de cobertura de haz de usuario puede formarse a partir de las señales 6440c de enlace ascendente directo desde al menos un subconjunto de los AN 515 en la primera área 3450a de nodo de acceso y desde las señales 6440d de enlace ascendente directo de al menos un subconjunto de los AN 515 en la segunda área 3450b de nodo de acceso.

a asignación 6401 de espectro de frecuencia también ilustra un ejemplo de asignación de frecuencia para transmisiones de enlace de retorno para el escenario ilustrado en la Fig. 59B utilizando un retransmisor 3403 de extremo a extremo que tiene rutas 6100 y 6150 de señal de recepción/transmisión directas y de retorno como se muestra en las Figs. 61A y 61B. Las señales 6450a de enlace ascendente de retorno que se originan desde los terminales 517 de usuario distribuidos a lo

largo del área 3460 de cobertura de usuario se transmiten en el intervalo 6425b de frecuencias (*p. ej.*, utilizando RHCP) y se reciben por los elementos 3426a y 3426b de recepción constituyentes de enlace de usuario de la Fig. 61B, donde los elementos 3426a y 3426b de recepción constituyentes de enlace de usuario pertenecen al mismo conjunto 3425 de elementos de antena de enlace de usuario. Como se describe con referencia a la Fig. 61B, las señales 6450 de enlace ascendente de retorno pueden alimentarse a los transpondedores 3440j y 3440k de enlace de retorno y se convierten en frecuencia a los intervalos 6430b (*p. ej.*, utilizando LHCP) y 6435b (*p. ej.*, utilizando LHCP) de frecuencia apropiados, respectivamente. Las señales convertidas en frecuencia pueden combinarse, a continuación, (*p. ej.*, sumarse, *etc.*) mediante el combinador 6010 de señal y, a continuación, se transmiten mediante elementos 3419 de transmisión constituyentes de enlace alimentador a los AN 515, por ejemplo, en las áreas 3450a y 3450b de nodo de acceso. Debe entenderse que la asignación 6401 de frecuencias es un ejemplo y pueden utilizarse varias otras asignaciones de frecuencia. Por ejemplo, las señales 6450a de enlace ascendente de retorno pueden estar en un intervalo de frecuencias distinto (*p. ej.*, un intervalo de frecuencias distinto dentro de la banda K/Ka) que las señales 6445c y 6445d de enlace descendente directo. De forma similar, las señales 6440c de enlace ascendente directo pueden estar en un intervalo de frecuencias distinto (*p. ej.*, un intervalo de frecuencias distinto dentro de la banda K/Ka) de enlace descendente de retorno que las señales 6455a de enlace descendente de retorno y las señales 6440d de enlace ascendente directo pueden asignarse dentro de un intervalo de frecuencias distinto (*p. ej.*, un intervalo de frecuencias distinto dentro de las bandas V/W, como se ilustra) que las señales 6455d de enlace descendente de retorno. Esto puede permitir, por ejemplo, el uso de transpondedores de polarización doble en las rutas 6100 y 6150 de señal de recepción/transmisión directas y de retorno. El acoplamiento de las rutas 6100 y 6150 de señal de recepción/transmisión directas y de retorno a los diversos elementos de transmisión/recepción constituyentes de enlace de usuario y de enlace alimentador puede seleccionarse según la asignación de intervalo de frecuencias deseada.

En algunos casos, los anchos de banda disponibles en una banda dada (*p. ej.*, banda K, banda Ka, *etc.*) para las transmisiones de enlace alimentador y las transmisiones de enlace de usuario, pueden ser distintos (*p. ej.*, significativamente distintos). De forma adicional o alternativa, los anchos de banda disponibles para las transmisiones de enlace ascendente y descendente dentro de una banda determinada pueden ser (*p. ej.*, significativamente) distintos. Como ejemplo, un organismo regulador puede especificar qué partes de un espectro de frecuencia están disponibles para diversos tipos de transmisiones.

Las Figs. 65A y 65B muestran asignaciones 6500 y 6501 de espectro de frecuencia ilustrativas con tres intervalos de frecuencia (intervalos de frecuencia 6520a, 6525a y 6530a) utilizados para el enlace directo y tres intervalos de frecuencias (intervalos de frecuencia 6520b, 6525b y 6530b) utilizados para el enlace de retorno. En el ejemplo ilustrado, los intervalos de frecuencias 6520a, 6520b, 6525a y 6525b son intervalos de frecuencia dentro de las bandas K/Ka (*p. ej.*, entre 17 GHz y 40 GHz) mientras que los intervalos de frecuencia 6530a y 6530b están dentro de las bandas V/W (*p. ej.*, entre 40 GHz y 110 GHz). Las Figs. 65A y 65B pueden ilustrar el funcionamiento de múltiples grupos de AN que funcionan en distintos intervalos de frecuencias, como se muestra en las Figs. 59A o 59B.

Haciendo referencia a la Fig. 65A, las señales 6540a de enlace ascendente directo desde el área 3450a de cobertura de AN pueden transmitirse en el intervalo 6525a de frecuencias (*p. ej.*, utilizando RHCP) mientras que las señales 6540b de enlace ascendente directo desde el área 3450b de cobertura de AN pueden transmitirse en el intervalo 6530a de frecuencias (*p. ej.*, utilizando RHCP). Como se explica con referencia a las Figs. 60A o 61A, los dos conjuntos de señales 6540 de enlace ascendente directo son convertidos en frecuencias por los transpondedores 3430 de enlace directo al intervalo 6520a de frecuencias. En el ejemplo ilustrado en la Fig. 65A, el ancho de banda combinado de los intervalos 6525a y 6530a de frecuencia es igual al ancho de banda del intervalo 6520a de frecuencias. Por lo tanto, las señales 6540a de enlace ascendente directo se convierten en frecuencias (*p. ej.*, a través de convertidores de frecuencia en los transpondedores de enlace directo de las rutas 6000 o 6100 de señal de recepción/transmisión directa) en señales 6545 de enlace descendente directo que abarcan una primera parte 6521a del intervalo 6520a de frecuencias, mientras que las señales 6540b de enlace ascendente directo se convierten en frecuencias (*p. ej.*, a través de convertidores de frecuencia en los transpondedores de enlace directo de las rutas 6000 o 6100 de señal de recepción/transmisión directas) a señales 6545 de enlace descendente directo que abarcan una segunda parte 6521b del intervalo 6520a de frecuencias. Un haz de usuario con formación de haces en el área 3460 de cobertura de usuario puede abarcar todo el intervalo 6520a de frecuencias, en cuyo caso el haz de usuario se forma a partir de ambas señales 6540a y 6540b de enlace ascendente directo. Donde cada haz de usuario formado por señales 6545 de enlace descendente directo utiliza un subconjunto del intervalo 6520a de frecuencias, algunos haces de usuario pueden estar formados por la primera parte 6521a del intervalo 6520a de frecuencias y algunos haces de usuario pueden estar formados por la segunda parte 6521b del intervalo 6520a de frecuencias. De forma alternativa o adicional, en algunos casos, algunos haces de usuario pueden formarse mediante la superposición cooperativa de señales 6545 de enlace descendente directo asociadas con el intervalo 6521a de frecuencias y señales 6545 de enlace descendente directo asociadas con el intervalo 6521b de frecuencias (*p. ej.*, los intervalos 6521a y 6521b de frecuencias pueden solapar parcialmente para permitir la formación cooperativa de haces de usuario en el área 3460 de cobertura de usuario con las señales 6540 de enlace ascendente directo de distintos grupos de AN). En otro ejemplo, uno o ambos intervalos de frecuencias 6525a o 6530a pueden tener el mismo ancho de banda que el intervalo de frecuencias 6520a (*p. ej.*, o el ancho de banda combinado de los intervalos 6525a y 6530a de frecuencias puede exceder el ancho de banda del intervalo 6520a de frecuencias) y, por lo tanto, hasta todos los haces de usuario directos pueden formarse mediante la superposición cooperativa de señales de enlace descendente directo asociadas con los intervalos 6521a y 6521b de frecuencias.

La Fig. 65B muestra asignaciones de enlace de retorno ilustrativas donde al menos un área 3450 de nodo de acceso utiliza intervalos de frecuencias dentro de una banda diferente a la utilizada para el área 3460 de cobertura de usuario. Específicamente, los terminales 517 de usuario pueden transmitir las señales 6550 de enlace ascendente de retorno en un intervalo 6520b de frecuencias (*p. ej.*, dentro de las bandas K/Ka), que pueden recibirse a través de dos conjuntos de elementos 3416 de recepción constituyentes de enlace de usuario, como se muestra en la Fig. 60B o 61B, y se convierten en frecuencia (*p. ej.*, a través de convertidores de frecuencias en los transpondedores 3440 de enlace de retorno de las rutas 6050 o 6150 de señal de recepción/transmisión de retorno) a un primer conjunto de señales 6555a de enlace descendente de retorno en el intervalo 6525b de frecuencias y un segundo conjunto de señales 6555b de enlace descendente de retorno en el intervalo 6530b de frecuencias. El primer y el segundo conjunto de señales 6555a, 6555b de enlace descendente de retorno pueden transmitirse desde el mismo elemento 3419 de transmisión constituyente de enlace alimentador (como se muestra en la Fig. 61B) o desde distintos elementos 3419 de transmisión constituyentes de enlace alimentador (como se muestra en la Fig. 60B). Como en la Fig. 65A, los anchos de banda combinados de los intervalos 6525b y 6530b de frecuencias se ilustran para ser iguales al ancho de banda del intervalo 6520b de frecuencias. Por lo tanto, una primera parte 6560a de las señales 6550 de enlace ascendente de retorno puede convertirse en frecuencia y ser transmitida por un primer conjunto de transpondedores 3440 de enlace de retorno como señales 6555a de enlace descendente de retorno mientras que una segunda parte 6560b (que puede o no solaparse con la primera parte 6560a) puede convertirse en frecuencia y ser transmitida por un segundo conjunto de transpondedores 3440 de enlace de retorno como señales 6555b de enlace descendente de retorno. Por lo tanto, algunos haces de usuario de retorno pueden formarse llevando a cabo un procesamiento de formación de haces de enlace de retorno en partes de señales 6555a de enlace descendente de retorno y algunos haces de usuario de retorno pueden formarse realizando un procesamiento de formación de haces de enlace de retorno en partes de señales 6555b de enlace descendente de retorno. De forma alternativa o adicional, algunos haces de usuario de retorno pueden formarse llevando a cabo un procesamiento de formación de haces de enlace de retorno en partes de las señales 6555a de enlace descendente de retorno y de las señales 6555b de enlace descendente de retorno (*p. ej.*, algunas partes de las señales 6555a y 6555b de enlace descendente de retorno pueden cooperar para formar un único haz de usuario de retorno). En algunos casos, uno o ambos intervalos 6525b o 6530b de frecuencias pueden tener el mismo ancho de banda que el intervalo 6520b de frecuencias (*p. ej.*, o el ancho de banda combinado de los intervalos 6525b y 6530b de frecuencias puede exceder el ancho de banda del intervalo 6520b de frecuencias) y, por lo tanto, hasta todos los haces de usuario de retorno pueden formarse mediante superposición cooperativa de las señales 6555a y 6555b de enlace descendente de retorno.

Las Figs. 66A y 66B ilustran rutas de señal de recepción/transmisión ilustrativo que soportan grupos de AN cooperantes que funcionan en distintos intervalos de frecuencias según aspectos de la presente descripción. La ruta 6600 de señal de recepción/transmisión directa de la Fig. 66A incluye los transpondedores 3430l de enlace directo acoplados entre los elementos 3416a de recepción constituyentes de enlace alimentador y los elementos 3429 de transmisión constituyentes de enlace de usuario y los transpondedores 3430m de enlace directo acoplados entre los elementos 3416b de recepción constituyentes de enlace alimentador y los elementos 3429 de transmisión constituyentes de enlace de usuario. Como se ha descrito anteriormente, el transpondedor 3430l de enlace directo puede incluir algunos o todos los LNA 3705a, convertidores 3710l de frecuencia y filtros asociados, amplificadores 3715a de canal, desplazadores 3720a de fase, amplificadores 3725a de potencia y filtros 3730a de armónicos. De forma similar, el transpondedor 3430m de enlace directo puede incluir algunos o todos los LNA 3705a, convertidores 3710m de frecuencia y filtros asociados, amplificadores 3715a de canal, desplazadores 3720a de fase, amplificadores 3725a de potencia y filtros 3730a de armónicos. En algunos casos, el convertidor de frecuencias 3710l puede funcionar para convertir señales desde un primer intervalo de frecuencias de enlace ascendente de enlace alimentador (*p. ej.*, intervalo 6525a de frecuencias de la Fig. 65A) a una primera parte de un intervalo de frecuencias de enlace descendente de enlace de usuario (*p. ej.*, intervalo 6521a de frecuencias de la Fig. 65A) mientras que el convertidor de frecuencias 3710m es operable para convertir señales desde una segunda frecuencia de enlace ascendente de enlace alimentador (*p. ej.*, intervalo 6530a de frecuencias de la Fig. 65A) a una segunda parte del mismo intervalo de frecuencias de enlace descendente del enlace de usuario (*p. ej.*, intervalo 6521b de frecuencias de la Fig. 65A). Los transpondedores 3430 de enlace directo acoplan múltiples elementos 3416a y 3416b de recepción constituyentes de enlace alimentador a un único elemento 3429 de transmisión constituyente de enlace de usuario. Los elementos 3416a y 3416b de recepción constituyentes de enlace alimentador pueden ser partes del mismo conjunto 3415 de elementos de antena de enlace alimentador o conjuntos 3415a y 3415b de elementos de antena de enlace alimentador separados (como se muestra). El elemento 3416a de recepción constituyente de enlace alimentador puede actuar como entrada para el transpondedor 3430l de enlace directo mientras el elemento 3416b de recepción constituyente de enlace alimentador puede actuar como entrada para el transpondedor 3430m de enlace directo. Las salidas de los transpondedores 3430 de enlace directo pueden alimentarse al combinador 6610 de señales antes de ser transmitido por el elemento 3429 de transmisión constituyente de enlace de usuario a los terminales 517 de usuario en las áreas 3460 de cobertura de usuario. En algunos casos, los componentes de las rutas 6600 y 6650 de señal de recepción/transmisión pueden reorganizarse (u omitirse), *p. ej.*, de modo que el combinador 6610 de señales puede seguir los filtros 3430b de armónicos, el divisor 6605 puede preceder a los LNA 3705a, *etc.*

La ruta 6650 de señal de recepción/transmisión de retorno de la Fig. 66B incluye el transpondedor 3440l de enlace de retorno acoplado entre un elemento 3426 de recepción constituyente de enlace de usuario y un correspondiente

elemento 3419a de transmisión constituyente de enlace alimentador y un transpondedor 3440m de enlace de retorno acoplado entre un elemento 3426 de recepción constituyente de enlace de usuario y un correspondiente elemento 3419b de transmisión constituyente de enlace alimentador. Como se ha descrito anteriormente, el transpondedor 3440l de enlace de retorno puede incluir algunos o todos los LNA 3705b, convertidores 3710n de frecuencia y filtros asociados, amplificadores 3715b de canal, desplazadores 3720b de fase, amplificadores 3725b de potencia y filtros 3730b de armónicos. De forma similar, el transpondedor 3440m de enlace de retorno puede incluir algunos o todos los convertidores 3710o de frecuencia y filtros asociados, amplificadores 3715b de canal, desplazadores 3720b de fase, amplificadores 3725b de potencia y filtros 3730b de armónicos de los LNA 3705b. En algunos casos, el convertidor 3710n de frecuencia puede funcionar para convertir señales desde una primera parte de un intervalo de frecuencias de enlace ascendente de enlace de usuario (*p. ej.*, el intervalo 6560a de frecuencias de la Fig. 65B) a un primer intervalo de frecuencias de enlace descendente de enlace alimentador (*p. ej.*, el intervalo 6525b de frecuencias de la Fig. 65B, que puede ser el mismo intervalo que el primer intervalo de frecuencias de enlace ascendente de enlace alimentador descrito con referencia a la Fig. 66A), mientras que el convertidor 3710o de frecuencia funciona para convertir señales desde una segunda parte del intervalo de frecuencias de enlace ascendente de enlace de usuario (*p. ej.*, el intervalo 6560b de frecuencias de la Fig. 65B) a un segundo intervalo de frecuencias de enlace descendente de enlace alimentador (*p. ej.*, el intervalo 6530b de frecuencias de la Fig. 65B, que puede ser el mismo intervalo que el intervalo de frecuencias de enlace ascendente de enlace alimentador descrito con referencia a la Fig. 66A). Tras la recepción por un elemento 3426 de recepción constituyente de enlace de usuario, las señales de enlace ascendente de retorno pueden dividirse (*p. ej.*, utilizando un divisor 6605) y las señales divididas pueden servir como entradas para los transpondedores 3440l y 3440m de enlace de retorno. En algunos ejemplos, el divisor 6605 divide las señales basándose en intervalos de frecuencia (*p. ej.*, de modo que las señales recibidas de enlace ascendente de retorno que ocupan un primer intervalo de frecuencias se alimentan al transpondedor 3430l de enlace directo, y las señales recibidas de enlace ascendente de retorno que ocupan un segundo intervalo de frecuencias se alimentan al transpondedor 3430m de enlace directo). En tal escenario, el divisor 6605 puede ser un ejemplo de uno o más filtros. Por lo tanto, los convertidores 3710n y 3710o de frecuencia pueden funcionar para aceptar entradas en distintos intervalos de frecuencias o partes de un intervalo de frecuencias y señales de salida en distintos intervalos de frecuencias en las señales 522 de enlace descendente de alimentador.

Como se ha descrito anteriormente, los diversos elementos de antena de enlace alimentador pueden formar parte de los mismos o distintos conjuntos 3415 de elementos de antena de enlace alimentador. Los elementos 3419a de transmisión constituyentes de enlace alimentador y los elementos 3419b de transmisión constituyentes de enlace alimentador pueden intercalarse dentro del mismo conjunto 3415 de elementos de antena de enlace alimentador como se ilustra en la Fig. 62. Cuando las frecuencias soportadas para los enlaces de alimentador por los transpondedores 3430l y 3430m de enlace directo y los transpondedores 3440l y 3440m de enlace de retorno son sustancialmente distintas (*p. ej.*, siendo una diferente en más de 1,5x desde la otra, *etc.*), los distintos subconjuntos de los elementos 6205a, 6205b del conjunto 6200 de elementos de antena pueden dimensionarse adecuadamente para los distintos intervalos de frecuencias soportados (*p. ej.*, los elementos 6205b de antena constituyentes que soportan un intervalo de frecuencias más alto que los elementos 6205a de antena constituyentes pueden tener guías de onda/bocinas más pequeñas, *etc.*).

Nodos de acceso que soportan múltiples señales de enlace alimentador independientes

En algunos ejemplos, uno o más AN 515 pueden soportar múltiples enlaces de alimentador (*p. ej.*, la transmisión de múltiples señales de enlace ascendente directo y/o la recepción de múltiples señales de enlace descendente de retorno). En algunos casos, pueden utilizarse AN 515 que soporten múltiples enlaces de alimentador para reducir el número de AN. Por ejemplo, en vez de tener M AN 515 donde cada AN 515 soporta un enlace alimentador, el sistema puede tener $M/2$ AN 515, donde cada AN 515 soporta dos enlaces de alimentador. Mientras que tener $M/2$ AN 515 reduce la diversidad espacial de los AN 515, las señales entre los AN 515 y el retransmisor de extremo a extremo en distintas frecuencias experimentarán distintos canales, lo que también da lugar a una diversidad de canales entre los dos enlaces de alimentador. Cada AN 515 puede recibir múltiples señales 516 directas específicas de nodo de acceso, donde cada señal 516 directa específica de nodo de acceso se pondera según los coeficientes de formación de haces que se determinan basándose en una matriz de canal asociada al intervalo de frecuencias de transmisión correspondiente. Por lo tanto, donde cada AN 515 soporta dos enlaces de alimentador, puede proporcionarse a cada AN 515 una primera señal directa específica de nodo de acceso determinada basándose en parte en una primera matriz de canal de enlace ascendente directo para canales de enlace ascendente directo entre los AN 515 y el retransmisor 3403 de extremo a extremo en un primer intervalo de frecuencias y en una segunda señal directa específica de nodo de acceso determinada, basándose en parte en una segunda matriz de canal de enlace ascendente directo para los canales de enlace ascendente directo entre los AN 515 y el retransmisor 3403 de extremo a extremo en un segundo intervalo de frecuencias. De forma similar, en el enlace de retorno, cada AN 515 puede obtener una primera señal de retorno compuesta basándose en una primera señal de enlace descendente de retorno en un tercer intervalo de frecuencias (que puede ser el mismo intervalo de frecuencias o estar en la misma banda que el primer intervalo de frecuencias) y una segunda señal de retorno compuesta basándose en una segunda señal de enlace descendente de retorno en un cuarto intervalo de frecuencias (que puede ser el mismo intervalo de frecuencias o estar en la misma banda que el segundo intervalo de frecuencias). Cada AN 515 puede proporcionar las respectivas primera y segunda señales de retorno compuestas al formador 513 de haces de retorno, que puede aplicar coeficientes de formación de haces a las primeras señales de retorno compuestas determinadas en parte basándose en una primera matriz de canales de enlace descendente de retorno para los canales de enlace descendente

de retorno entre el retransmisor 3403 de extremo a extremo y los AN 515 en el tercer intervalo de frecuencias y aplicar coeficientes de formación de haces a las segundas señales de retorno compuestas determinadas basándose en parte en una segunda matriz de canal de enlace descendente de retorno para los canales de enlace descendente de retorno en el cuarto intervalo de frecuencias.

Los sistemas que emplean $M/2$ AN 515 pueden tener una capacidad de sistema reducida cuando se comparan con los M AN 515, pero la reducción de coste de sistema (*p. ej.*, que incluye los costes de configuración y mantenimiento) puede ser sustancial al tiempo que aún proporciona un rendimiento aceptable. Además, puede utilizarse un número de AN 515 distinto de $M/2$, tal como $0,75 M$, que pueden proporcionar un rendimiento similar o mayor a coste reducido cuando se compara con M AN 515, soportando cada uno solo un enlace alimentador. De forma general, donde se utilizarían M AN 515, soportando cada uno un enlace alimentador único (*p. ej.*, un único intervalo de frecuencias de enlace ascendente de alimentador y un único intervalo de frecuencias de enlace descendente de alimentador), pueden utilizarse $X \cdot M$ AN 515, donde cada AN 515 soporta múltiples enlaces de alimentador, donde X es el intervalo de 0,5 a 1,0.

Volviendo a las Figs. 45A y 45B, los $X \cdot M$ AN 515 pueden distribuirse dentro del área 3450 de nodo de acceso y pueden dar servicio a los terminales 517 de usuario dentro del área 3460 de cobertura de usuario a través de haces de usuario con formación de haces, donde uno o más haces de usuario se forman mediante formación de haces utilizando múltiples señales de enlace alimentador desde al menos un AN 515. Los múltiples enlaces de alimentador pueden soportarse a través de un único conjunto de elementos de antena constituyentes de enlace alimentador (*p. ej.*, un único conjunto 3415 de elementos de antena de enlace alimentador) o elementos de antena constituyentes de enlace alimentador separados (conjuntos 3415 de elementos de antena de enlace alimentador separados para cada enlace alimentador).

Puede utilizarse un único conjunto 3415 de elementos de antena de enlace alimentador y un único reflector para soportar múltiples enlaces de alimentador para cada AN 515 utilizando las rutas 6000, 6050 de señal de recepción/transmisión directas y de retorno de las Figs. 60A y 60B (*p. ej.*, los subconjuntos separados de elementos de antena constituyentes de enlace alimentador dentro del mismo conjunto 3415 de elementos de antena de enlace alimentador), o las rutas 6100, 6150 de señal de recepción/transmisión directas y de retorno de las Figs. 61A y 61B (*p. ej.*, divisores y combinadores utilizados para multiplexar los múltiples enlaces de alimentador que utilizan el mismo conjunto de elementos de antena constituyentes de enlace alimentador). Cuando la diferencia en intervalos de frecuencia entre los múltiples enlaces de alimentador es sustancial (lo que puede ser deseable para aumentar la diversidad de canales), las dimensiones del área 3450 de nodo de acceso pueden depender del enlace alimentador de frecuencia más alta. Por ejemplo, donde un primer enlace alimentador se soporta en un intervalo de frecuencias de aproximadamente 30 GHz mientras que un segundo enlace alimentador se soporta en un intervalo de frecuencias de aproximadamente 60 GHz, el área de nodo de acceso está limitado al área iluminada por el único conjunto 3415 de elementos de antena de enlace alimentador a través del único reflector. Por lo tanto, puede perderse alguna diversidad de rutas para el intervalo de frecuencias más bajo. De forma alternativa, puede utilizarse un primer conjunto 3415a de elementos de antena de enlace alimentador para soportar un primer intervalo de frecuencias mientras se utiliza un segundo conjunto 3415b de elementos de antena de enlace alimentador para soportar un segundo intervalo de frecuencias. En este caso, pueden utilizarse reflectores separados y pueden dimensionarse apropiadamente para proporcionar cobertura de una misma área 3450 de nodo de acceso en las distintas frecuencias. Por ejemplo, donde un primer enlace alimentador es soportado por un primer conjunto 3415a de elementos de antena de enlace alimentador y un primer reflector en un intervalo de frecuencias de aproximadamente 30 GHz, mientras que un segundo enlace alimentador es soportado por un segundo conjunto 3415b de elementos de antena de enlace alimentador y un segundo reflector en un intervalo de frecuencias de aproximadamente 60 GHz, el primer reflector puede ser mayor (*p. ej.*, teniendo el doble del área del reflector) que el segundo reflector para tener en cuenta la diferencia en la ganancia de antena a las distintas frecuencias.

La asignación de frecuencias para los distintos enlaces de alimentador puede hacerse de diversas formas, incluyendo las mostradas en las Figs. 64A, 64B, 65A o 65B. Es decir, un primer enlace alimentador puede utilizar frecuencias de portadora dentro de los intervalos 6425a y 6430a de frecuencia (*p. ej.*, en las bandas K/Ka) mientras que un segundo enlace alimentador utiliza el intervalo 6435a de frecuencias (*p. ej.*, en bandas V/W) como se muestra en la Fig. 64A. De forma alternativa, el primer enlace alimentador puede utilizar frecuencias de portadora dentro de los intervalos 6430b de frecuencia (*p. ej.*, en las bandas K/Ka) mientras que un segundo enlace alimentador utiliza el intervalo 6435b de frecuencias (*p. ej.*, en bandas V/W) como se muestra en la Fig. 64B. En otra alternativa adicional, el primer y segundo enlace de alimentador pueden utilizar frecuencias distintas de los enlaces de usuario como se muestra en las Figs. 65A y 65B, donde un primer enlace alimentador utiliza los intervalos 6525a y 6525b de frecuencia (*p. ej.*, en bandas V/W), mientras que un segundo enlace alimentador utiliza los intervalos 6530a y 6530b de frecuencia (*p. ej.*, en bandas V/W). En algunos ejemplos, el primer enlace alimentador y el segundo enlace alimentador pueden utilizar intervalos de frecuencias que son sustancialmente distintos (*p. ej.*, la frecuencia más baja en un intervalo de frecuencias puede ser mayor que 1,5 o 2 veces la frecuencia más baja en el otro intervalo de frecuencias). Como se ha explicado anteriormente, el ancho de banda para cada intervalo de frecuencias del enlace alimentador puede ser menor que el ancho de banda para el intervalo de frecuencias del enlace de usuario, o uno o más de los intervalos de frecuencia del enlace alimentador pueden tener el mismo ancho de banda que el intervalo de frecuencias del enlace de usuario. En algunos casos, el mapeo de las señales asociadas con el primer y segundo enlaces de alimentador puede ser inversamente proporcional a la separación de ancho de banda entre las dos señales (*p. ej.*, de modo que dos señales cuyos intervalos de frecuencias son adyacentes dentro

de la banda Ka están más correlacionadas que una señal de banda Ka y una señal de banda V o dos señales con intervalos de frecuencias no adyacentes dentro de la banda Ka). Este efecto es un resultado de las señales con intervalos de frecuencias adyacentes que experimentan efectos atmosféricos similares, mientras que las señales con un mayor grado de separación de ancho de banda experimentarán efectos atmosféricos distintos, lo que contribuye a la ruta múltiple inducida.

Conclusión

Aunque el método y el aparato descritos se describe anteriormente en términos de varios ejemplos, casos e implementaciones, se entenderá que las características, aspectos y funcionalidad particulares descritos en uno o más de los ejemplos individuales pueden aplicarse a otros ejemplos. Por lo tanto, el ámbito y amplitud de la invención reivindicada no estará limitado por ninguno de los ejemplos proporcionados anteriormente, sino que se definen mediante las reivindicaciones.

Los términos y expresiones utilizados en este documento, y variaciones de los mismos, a menos que se indique expresamente otra cosa, se interpretarán como abiertos en vez de como limitativos. Como ejemplos de lo anterior: el término “que incluye” debe interpretarse en el sentido de “que incluye, sin limitación” o similar; el término “ejemplo” se usa para proporcionar ejemplos de instancias del artículo que se explica, no una lista exhaustiva o limitante de las mismas; los términos “un” o “una” significan “al menos uno”, “uno o más” o similar.

A lo largo de la memoria descriptiva, el término “acoplar” o “acoplado” se utiliza para referirse de forma amplia a, bien una conexión física o bien eléctrica (incluyendo inalámbrica) entre los componentes. En algunos casos, un primer componente puede acoplarse a un segundo componente a través de un tercer componente intermedio dispuesto entre el primer y segundo componente. Por ejemplo, los componentes pueden acoplarse a través de conexiones directas, redes de adaptación de impedancia, amplificadores, atenuadores, filtros, bloques de corriente continua, bloques de corriente alterna, *etc.*

Un grupo de elementos vinculados con la conjunción “y” significa que no se requiere que todos y cada uno de esos elementos estén presentes en el grupo, sino más bien que incluye todos o algún subconjunto del todo a menos que se indique expresamente otra cosa. De forma similar, en un grupo de artículos vinculados con la conjunción “o” no requiere una exclusividad mutua entre ese grupo, sino que también incluye todos o cualquier subconjunto de todos, a menos que se indique expresamente otra cosa. Además, aunque los artículos, elementos o componentes del método y aparato descritos pueden describirse o reivindicarse en singular, se contempla que el plural está dentro del ámbito de los mismos a menos que se indique explícitamente la limitación al singular.

La presencia de palabras o expresiones de ampliación tales como “uno o más”, “al menos” u otras expresiones similares en algunos casos no significa que se pretenda o requiera el sentido más limitado en casos donde tales expresiones de ampliación pudieran estar ausentes. Adicionalmente, los términos “múltiple” y “pluralidad” pueden utilizarse como sinónimos en la presente memoria.

Aunque pueden incluirse signos de referencia en las reivindicaciones, estos se proporcionan para la única función de hacer las reivindicaciones más fáciles de comprender, y la inclusión (u omisión) de signos de referencia no debe verse como limitativa de la extensión de la materia protegida por las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un satélite (1502, 3403) para proporcionar comunicaciones entre una pluralidad de nodos (515) de acceso y una pluralidad de terminales (517) de usuario, distribuida la pluralidad de nodos de acceso geográficamente en al menos un área (3450) de cobertura de nodo de acceso y la pluralidad de terminales de usuario distribuida geográficamente en un área (3460) de cobertura de usuario, comprendiendo el satélite:

un subsistema (3410) de antena de enlace alimentador configurado para iluminar la pluralidad de nodos de acceso, en donde el subsistema de antena de enlace alimentador comprende una pluralidad de elementos (3419) de transmisión constituyentes de enlace alimentador cooperantes y una pluralidad de elementos (3416) de recepción constituyentes de enlace alimentador cooperantes;
un subsistema (3420) de antena de enlace de usuario configurado para iluminar el área de cobertura de usuario, en donde el subsistema de antena de enlace de usuario comprende una pluralidad de elementos (3429) de transmisión constituyentes de enlace de usuario cooperantes y una pluralidad de elementos (3426) de recepción constituyentes de enlace de usuario cooperantes;
una primera pluralidad de transpondedores (3430) de enlace directo, cada uno acoplado entre uno de los elementos de recepción constituyentes de enlace alimentador respectivos y uno de los elementos de transmisión constituyentes de enlace de usuario respectivos, estando la primera pluralidad de transpondedores de enlace directo configurada para recibir primeras señales compuestas de enlace ascendente directo en un primer intervalo de frecuencias y estando configurada para emitir primeras señales compuestas de enlace descendente directo en un segundo intervalo de frecuencias; y
una segunda pluralidad de transpondedores de enlace directo, cada uno acoplado entre uno de los elementos de recepción constituyentes de enlace alimentador respectivos y uno de los elementos de transmisión constituyentes de enlace de usuario respectivos, estando la segunda pluralidad de transpondedores de enlace directo configurada para recibir segundas señales compuestas de enlace ascendente directo en un tercer intervalo de frecuencias y estando configurada para emitir segundas señales compuestas de enlace descendente directo en el segundo intervalo de frecuencias,
en donde cada una de las primeras señales compuestas de enlace ascendente directo es una superposición respectiva de una primera pluralidad de señales (521, 6440a) de enlace ascendente directo transmitidas por nodos de acceso de la pluralidad de nodos de acceso en el primer intervalo de frecuencias, cada una de las segundas señales compuestas de enlace ascendente directo es una superposición respectiva de una segunda pluralidad de señales (521, 6440b) de enlace ascendente directo transmitidas por nodos de acceso de la pluralidad de nodos de acceso en el tercer intervalo de frecuencias, y el tercer intervalo de frecuencias no solapa con el primer intervalo de frecuencias,
en donde los elementos de transmisión constituyentes de enlace de usuario están configurados para transmitir las primeras señales compuestas de enlace descendente directo y las segundas señales compuestas de enlace descendente directo de modo que se superponen para contribuir a formar un haz de usuario.
2. El satélite de la reivindicación 1, que además comprende:
una pluralidad de divisores de enlace directo, estando cada uno de la pluralidad de divisores de enlace directo configurada para recibir una señal compuesta de enlace ascendente directo a través de uno de los elementos de recepción constituyentes de enlace alimentador y estando configurada para dividir la señal compuesta de enlace ascendente directo en una de las primeras señales compuestas de enlace ascendente directo y en una de las segundas señales compuestas de enlace ascendente directo.
3. El satélite de la reivindicación 1, en donde las entradas de la primera pluralidad de transpondedores de enlace directo se acoplan con un primer conjunto de la pluralidad de elementos de recepción constituyentes de enlace alimentador cooperantes y las entradas de la segunda pluralidad de transpondedores de enlace directo se acoplan con un segundo conjunto de la pluralidad de elementos de recepción constituyentes de enlace alimentador cooperantes.
4. El satélite de una cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en donde un ancho de banda del segundo intervalo de frecuencias es mayor que un ancho de banda de al menos uno del primer intervalo de frecuencias o que el tercer intervalo de frecuencias.
5. El satélite de una cualquiera de las reivindicaciones 1-4, en donde un ancho de banda del primer intervalo de frecuencias es el mismo que un ancho de banda del tercer intervalo de frecuencias.
6. El satélite de una cualquiera de las reivindicaciones 1-4, en donde un ancho de banda del primer intervalo de frecuencias es distinto de un ancho de banda del tercer intervalo de frecuencias.

7. El satélite de una cualquiera de las reivindicaciones 1-6, en donde el primer intervalo de frecuencias comienza a una primera frecuencia de base y el tercer intervalo de frecuencias comienza a una segunda frecuencia de base que es al menos una vez y media la primera frecuencia de base.
8. Un método para proporcionar comunicaciones entre una pluralidad de nodos (515) de acceso y una pluralidad de terminales (517) de usuario, distribuida la pluralidad de nodos de acceso geográficamente en al menos un área (3450) de cobertura de nodo de acceso y la pluralidad de terminales de usuario distribuida geográficamente en un área (3460) de cobertura de usuario, comprendiendo el método:
 - recibir, en un retransmisor (503, 3403) de extremo a extremo, una pluralidad de primeras señales compuestas de enlace ascendente directo y una pluralidad de segundas señales compuestas de enlace ascendente directo, en donde cada una de la pluralidad de primeras señales compuestas de enlace ascendente directo es una superposición respectiva de una primera pluralidad de señales (521, 6440a) de enlace ascendente directo transmitidas por nodos de acceso de la pluralidad de nodos de acceso en un primer intervalo de frecuencias y cada una de la pluralidad de segundas señales compuestas de enlace ascendente directo es una superposición respectiva de una segunda pluralidad de señales (521, 6440b) de enlace ascendente directo transmitidas por nodos de acceso de la pluralidad de nodos de acceso en un segundo intervalo de frecuencias, y en donde el segundo intervalo de frecuencias no solapa con el primer intervalo de frecuencias; generar una pluralidad de señales (522, 6345, 6445, 6545) de enlace descendente directo, generada cada una de la pluralidad de señales de enlace descendente directo a partir de una de la pluralidad de primeras señales compuestas de enlace ascendente directo respectivas o una de la pluralidad de segundas señales compuestas de enlace ascendente directo respectivas; y transmitir la pluralidad de señales de enlace descendente directo a la pluralidad de terminales de usuario en un tercer intervalo de frecuencias de modo que la pluralidad de señales de enlace descendente directo se superpongan para contribuir a formar un haz de usuario.
9. El método de la reivindicación 8, en donde la recepción comprende:
 - recibir, en el retransmisor de extremo a extremo, una pluralidad de señales compuestas de enlace ascendente directo a través de una pluralidad de elementos de recepción constituyentes de enlace alimentador; y
 - dividir cada una de la pluralidad de señales compuestas de enlace ascendente directo en una de la pluralidad de primeras señales compuestas de enlace ascendente directo y una de la pluralidad de segundas señales compuestas de enlace ascendente directo.
10. El método de la reivindicación 8, en donde la recepción comprende:
 - recibir la pluralidad de primeras señales compuestas de enlace ascendente directo a través de un primer conjunto de elementos de recepción constituyentes de enlace alimentador cooperantes; y
 - recibir la pluralidad de segundas señales compuestas de enlace ascendente directo a través de un segundo conjunto de elementos de recepción constituyentes de enlace alimentador cooperantes.
11. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 8-10, en donde un ancho de banda del tercer intervalo de frecuencias es mayor que un ancho de banda de al menos uno del primer intervalo de frecuencias o el segundo intervalo de frecuencias.
12. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 8-11, en donde un ancho de banda del primer intervalo de frecuencias es el mismo que un ancho de banda del segundo intervalo de frecuencias.
13. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 8-11, en donde un ancho de banda del primer intervalo de frecuencias es distinto de un ancho de banda del segundo intervalo de frecuencias.
14. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 8-13, en donde el primer intervalo de frecuencias comienza a una primera frecuencia de base y el segundo intervalo de frecuencias comienza a una segunda frecuencia de base que es al menos una vez y media la primera frecuencia de base.
15. Un satélite (1502, 3403) para proporcionar comunicaciones entre una pluralidad de nodos (515) de acceso y una pluralidad de terminales (517) de usuario, distribuida la pluralidad de nodos de acceso geográficamente en al menos un área (3450) de cobertura de nodo de acceso y la pluralidad de terminales de usuario distribuida geográficamente en un área (3460) de cobertura de usuario, comprendiendo el satélite:
 - un subsistema (3410) de antena de enlace alimentador configurado para iluminar la pluralidad de nodos de acceso, en donde el subsistema de antena de enlace alimentador comprende una

- pluralidad de elementos (3419) de transmisión constituyentes de enlace alimentador cooperantes y una pluralidad de elementos (3416) de recepción constituyentes de enlace alimentador cooperantes;
- 5 un subsistema (3420) de antena de enlace de usuario configurado para iluminar el área de cobertura de usuario, en donde el subsistema de antena de enlace de usuario comprende una pluralidad de elementos (3429) de transmisión constituyentes de enlace de usuario cooperantes y una pluralidad de elementos (3426) de recepción constituyentes de enlace de usuario cooperantes;
- 10 una primera pluralidad de transpondedores (3430) de enlace de retorno, cada uno acoplado entre uno de los elementos de recepción constituyentes de enlace de usuario respectivos y uno de los elementos de transmisión constituyentes de enlace alimentador respectivos, estando la primera pluralidad de transpondedores de enlace de retorno configurada para recibir primeras señales compuestas de enlace ascendente de retorno en un primer intervalo de frecuencias y estando configurada para emitir primeras señales compuestas de enlace descendente de retorno en un
- 15 segundo intervalo de frecuencias; y
- una segunda pluralidad de transpondedores de enlace de retorno, cada uno acoplado entre uno de los elementos de recepción constituyentes de enlace de usuario respectivos y uno de los elementos de transmisión constituyentes de enlace alimentador respectivos, estando la segunda pluralidad de transpondedores de enlace de retorno configurada para recibir segundas señales compuestas de enlace ascendente de retorno en el primer intervalo de frecuencias y estando configurada para emitir segundas señales compuestas de enlace descendente de retorno en un
- 20 tercer intervalo de frecuencias, en donde el tercer intervalo de frecuencias no solapa con el segundo intervalo de frecuencias,
- 25 en donde cada una de las primeras señales compuestas de enlace ascendente de retorno y cada una de las segundas señales compuestas de enlace ascendente de retorno es una superposición respectiva de una pluralidad de señales (525, 6450, 6550) de enlace ascendente de retorno transmitidas por terminales de usuario de la pluralidad de terminales de usuario dentro de una pluralidad de áreas de cobertura de haz de usuario del área de cobertura de usuario,
- 30 en donde los elementos de transmisión constituyentes de enlace alimentador están configurados para transmitir las primeras señales compuestas de enlace descendente de retorno de modo que se superpongan para contribuir a formar un primer haz de retorno, y para transmitir las segundas señales compuestas de enlace descendente de retorno de modo que se superpongan para contribuir a formar un segundo haz de retorno.
- 35
16. El satélite de la reivindicación 15, que comprende además:
- 40 una pluralidad de combinadores de señales de enlace de retorno, estando cada una de la pluralidad de combinadores de señales de enlace de retorno configurada para recibir una de las primeras señales compuestas de enlace descendente de retorno y una de las segundas señales compuestas de enlace descendente de retorno y estando configurada para combinar la una de las primeras señales compuestas de enlace descendente de retorno y la una de las segundas señales compuestas de enlace descendente de retorno para obtener una señal compuesta de enlace descendente de retorno combinada para la emisión a través de uno de los elementos de transmisión constituyentes de enlace alimentador.
- 45
17. El satélite de la reivindicación 15, en donde salidas de la primera pluralidad de transpondedores de enlace de retorno se acoplan con un primer conjunto de la pluralidad de elementos de transmisión constituyentes de enlace alimentador cooperantes, y salidas de la segunda pluralidad de transpondedores de enlace de retorno se acoplan con un segundo conjunto de elementos de transmisión constituyentes de enlace alimentador cooperantes.
- 50
18. El satélite de una cualquiera de las reivindicaciones 15-17, en donde un ancho de banda del primer intervalo de frecuencias es mayor que un ancho de banda de al menos uno del segundo intervalo de frecuencias o el tercer intervalo de frecuencias.
- 55
19. El satélite de una cualquiera de las reivindicaciones 15-18, en donde un ancho de banda del segundo intervalo de frecuencias es el mismo que un ancho de banda del tercer intervalo de frecuencias.
20. El satélite de una cualquiera de las reivindicaciones 15-18, en donde un ancho de banda del segundo intervalo de frecuencias es distinto de un ancho de banda del tercer intervalo de frecuencias.
- 60
21. El satélite de una cualquiera de las reivindicaciones 15-20, en donde el segundo intervalo de frecuencias comienza a una primera frecuencia de base y el tercer intervalo de frecuencias comienza a una segunda frecuencia de base que es al menos una vez y media la primera frecuencia de base.
- 65
22. Un método para proporcionar comunicaciones entre una pluralidad de nodos (515) de acceso y una pluralidad de terminales (517) de usuario, distribuida la pluralidad de nodos de acceso geográficamente en al menos un área

(3450) de cobertura de nodo de acceso y la pluralidad de terminales de usuario distribuida geográficamente en un área (3460) de cobertura de usuario, comprendiendo el método:

- 5 recibir, en un retransmisor (603, 3403) de extremo a extremo, una pluralidad de señales compuestas de enlace ascendente de retorno en un primer intervalo de frecuencias, en donde cada una de la pluralidad de señales compuestas de enlace ascendente de retorno es una superposición respectiva de una pluralidad de señales (525, 6450, 6550) de enlace ascendente de retorno transmitidas por terminales de usuario de la pluralidad de terminales de usuario dentro de una pluralidad de áreas de cobertura de haz de usuario del área de cobertura de usuario;
- 10 generar una pluralidad de primeras señales compuestas de enlace descendente de retorno y una pluralidad de segundas señales compuestas de enlace descendente de retorno, en donde cada una de la pluralidad de primeras señales compuestas de enlace descendente de retorno se genera a partir de una de la pluralidad de señales compuestas de enlace ascendente de retorno respectivas y cada una de la pluralidad de segundas señales compuestas de enlace descendente de retorno se genera a partir una de la pluralidad de señales compuestas de enlace ascendente de retorno respectivas; y
- 15 transmitir la pluralidad de primeras señales compuestas de enlace descendente de retorno en un segundo intervalo de frecuencias y la pluralidad de segundas señales compuestas de enlace descendente de retorno en un tercer intervalo de frecuencias, en donde el tercer intervalo de frecuencias no solapa con el segundo intervalo de frecuencias, de modo que las primeras señales compuestas de enlace descendente de retorno se superponen para contribuir a formar un primer haz de retorno y las segundas señales compuestas de enlace descendente de retorno se superponen para contribuir a formar un segundo haz de retorno.
- 20
- 25 23. El método de la reivindicación 22, en donde la transmisión comprende:
combinar una de la pluralidad de primeras señales compuestas de enlace descendente de retorno y una de la pluralidad de segundas señales compuestas de enlace descendente de retorno para obtener una señal compuesta de enlace descendente de retorno combinada para su emisión a través de uno de una pluralidad de elementos de transmisión constituyentes de enlace alimentador.
- 30 24. El método de la reivindicación 22, en donde la transmisión comprende:

transmitir la pluralidad de primeras señales compuestas de enlace descendente de retorno a través de un primer conjunto de elementos de transmisión constituyentes de enlace alimentador; y
- 35 transmitir la pluralidad de segundas señales compuestas de enlace descendente de retorno a través de un segundo conjunto de elementos de transmisión constituyentes de enlace alimentador.
- 40 25. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 22-24, en donde un ancho de banda del primer intervalo de frecuencias es mayor que un ancho de banda de al menos uno del segundo intervalo de frecuencias o el tercer intervalo de frecuencias.
- 45 26. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 22-25, en donde un ancho de banda del segundo intervalo de frecuencias es el mismo que un ancho de banda del tercer intervalo de frecuencias.
- 50 27. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 22-25, en donde un ancho de banda del segundo intervalo de frecuencias es distinto de un ancho de banda del tercer intervalo de frecuencias.
- 55 28. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 22-27, en donde el segundo intervalo de frecuencias comienza a una primera frecuencia de base y el tercer intervalo de frecuencias comienza a una segunda frecuencia de base que es al menos una vez y media la primera frecuencia de base.
29. El método de cualquiera de las reivindicaciones 22-28, en donde la recepción en el retransmisor de extremo a extremo comprende recibir en una pluralidad de elementos de recepción constituyentes de enlace de usuario cooperantes del retransmisor de extremo a extremo.

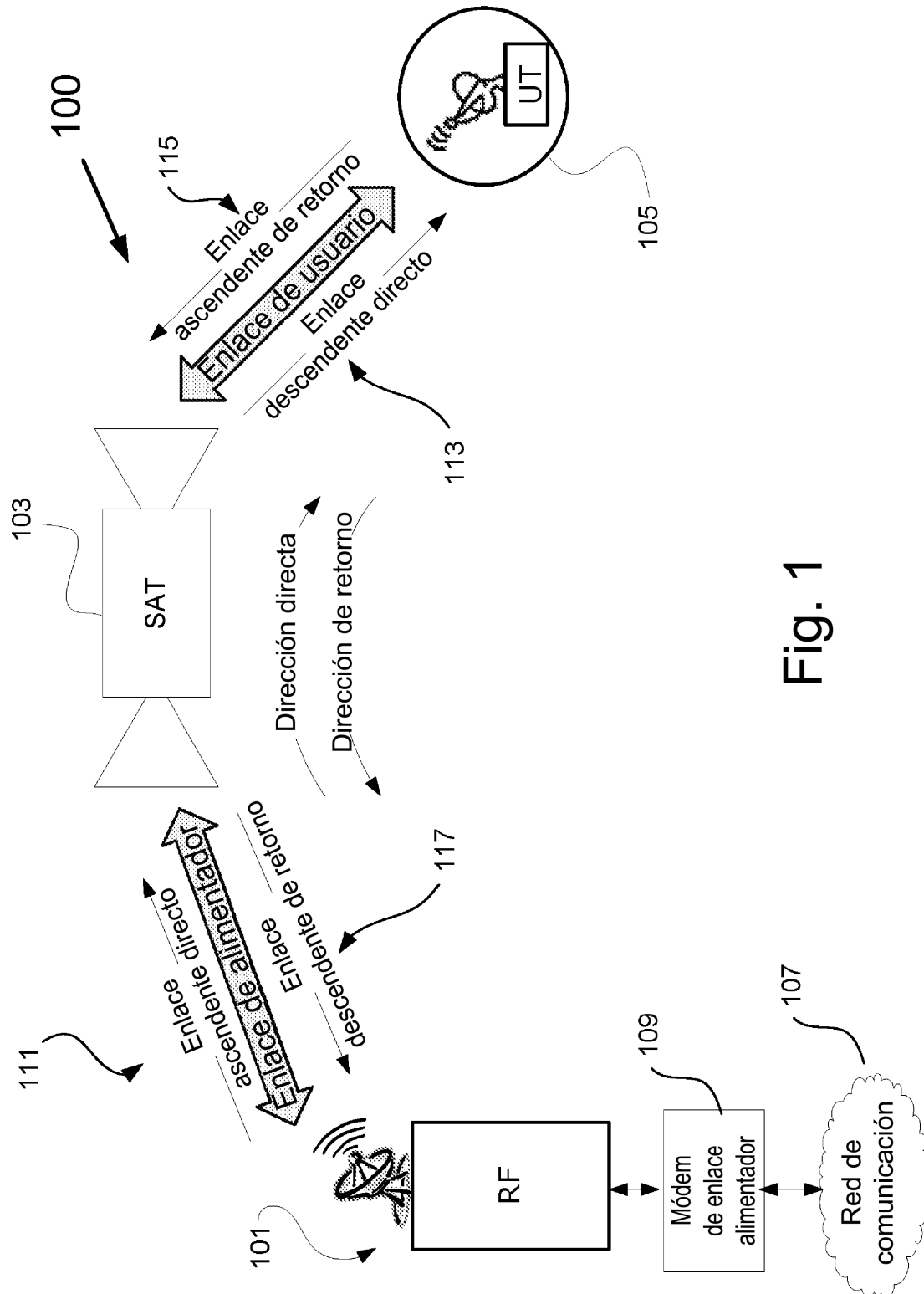


Fig. 1

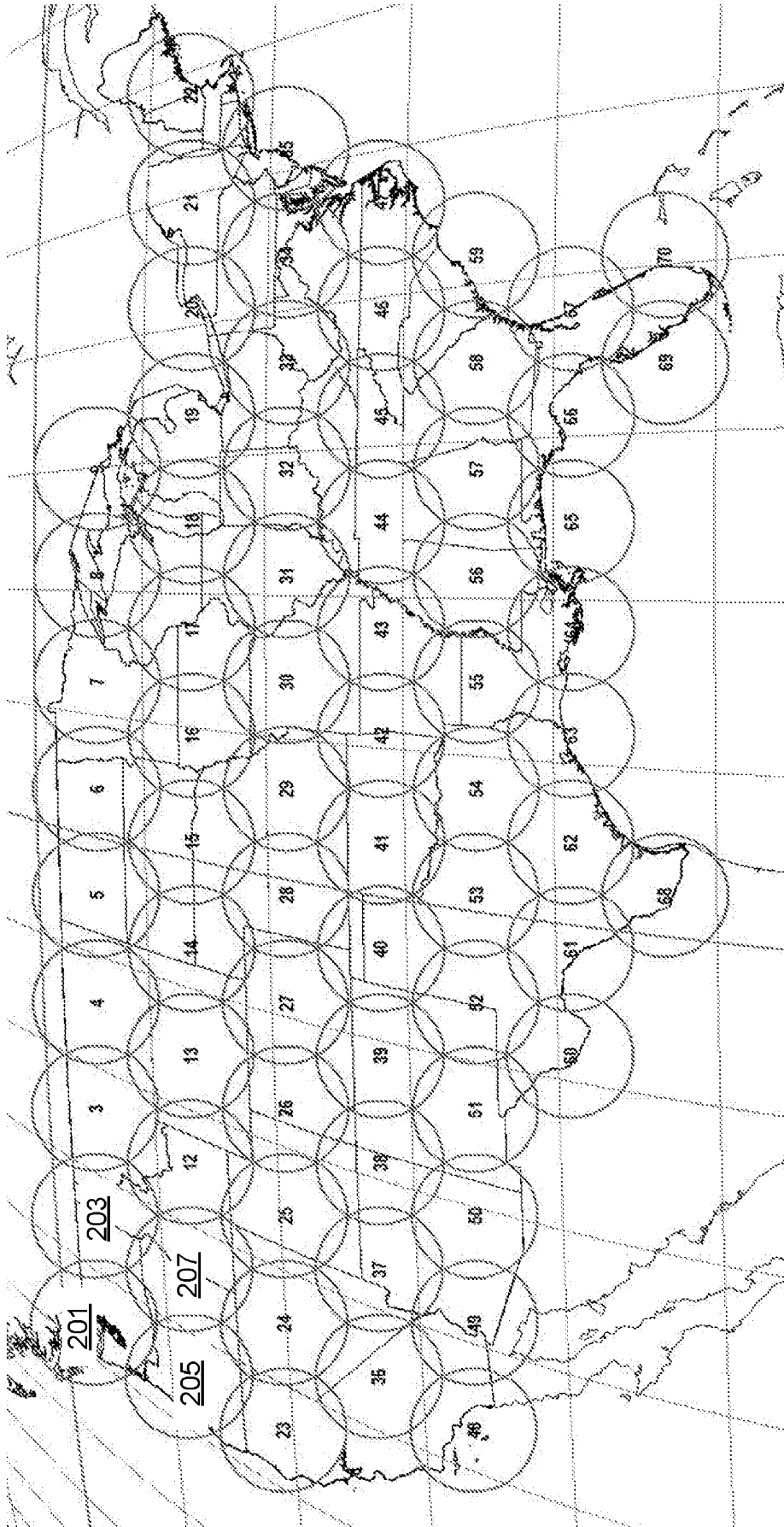


Fig. 2

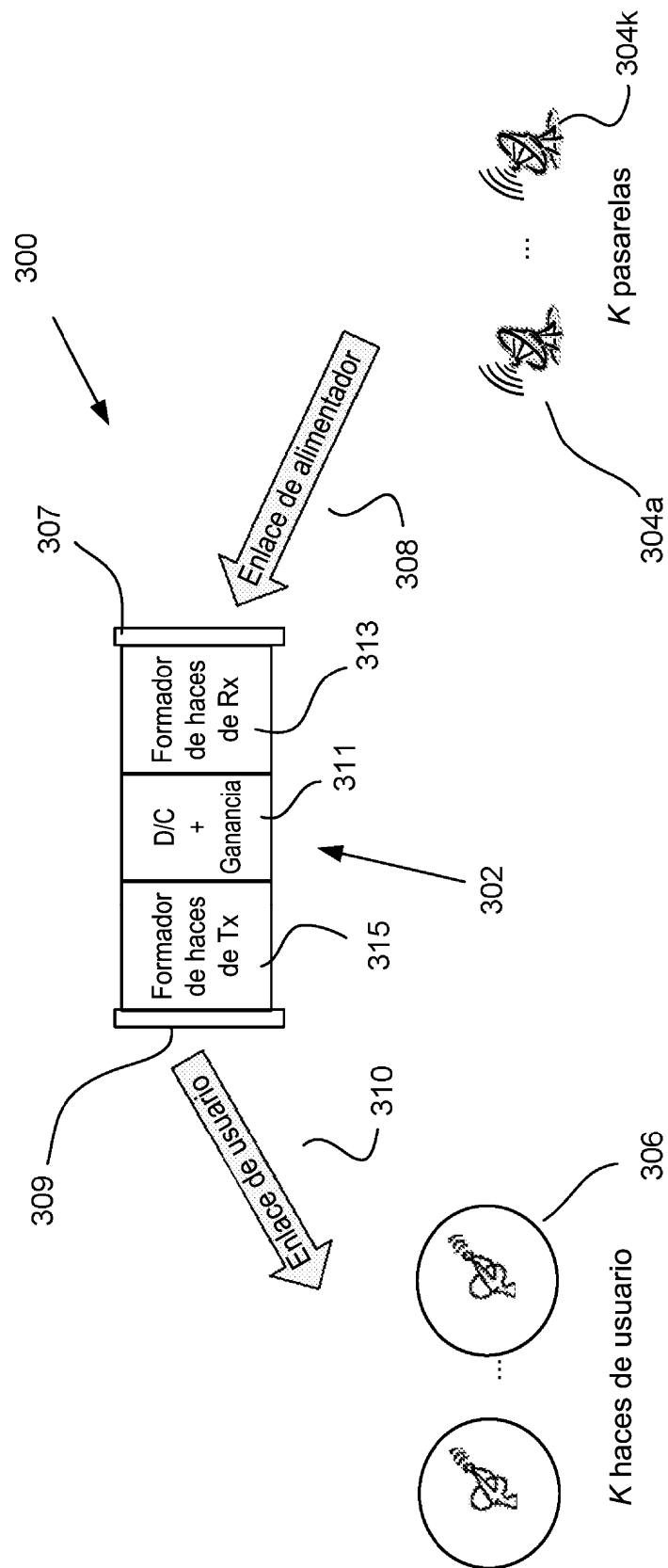


Fig. 3

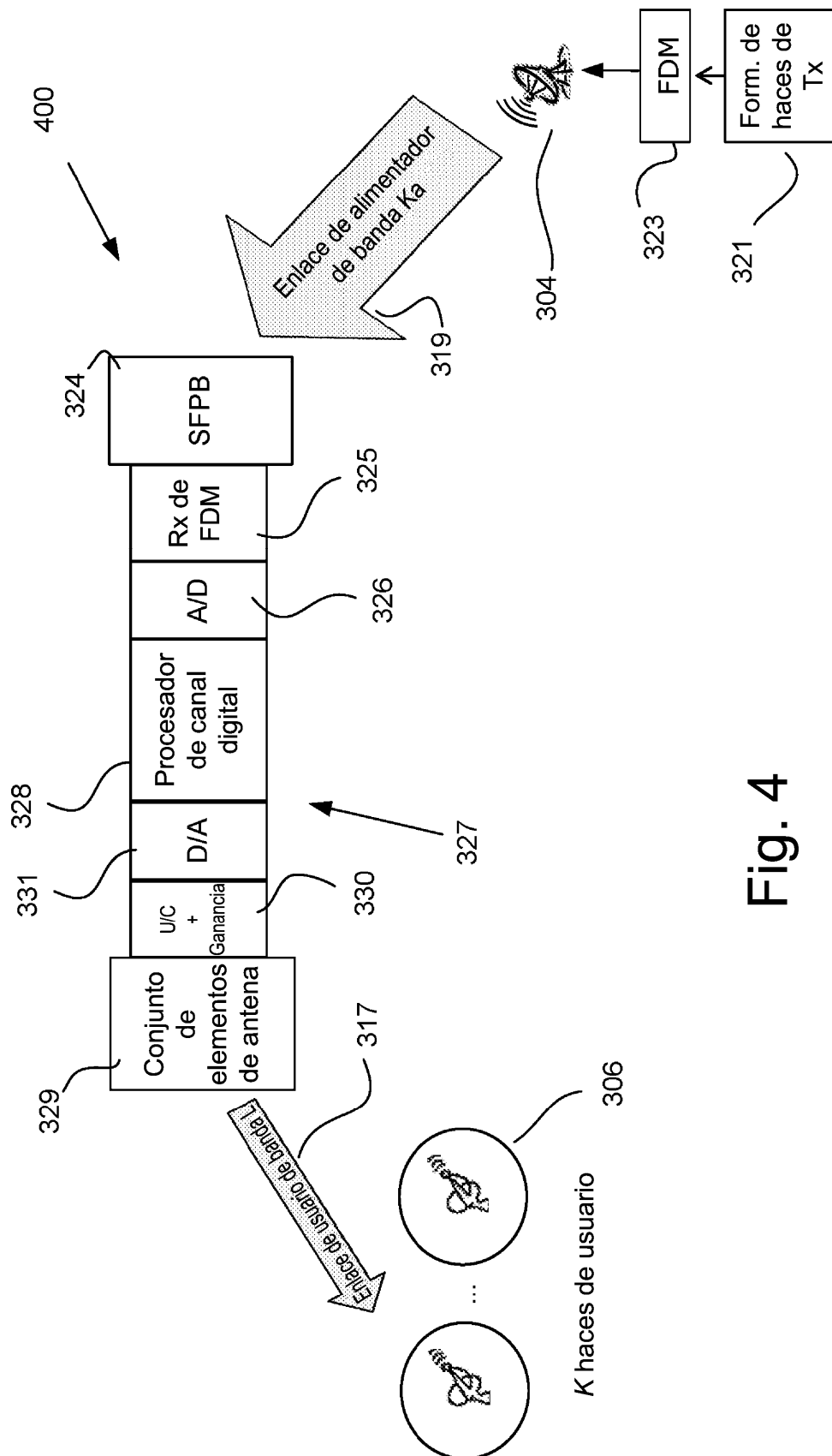


Fig. 4

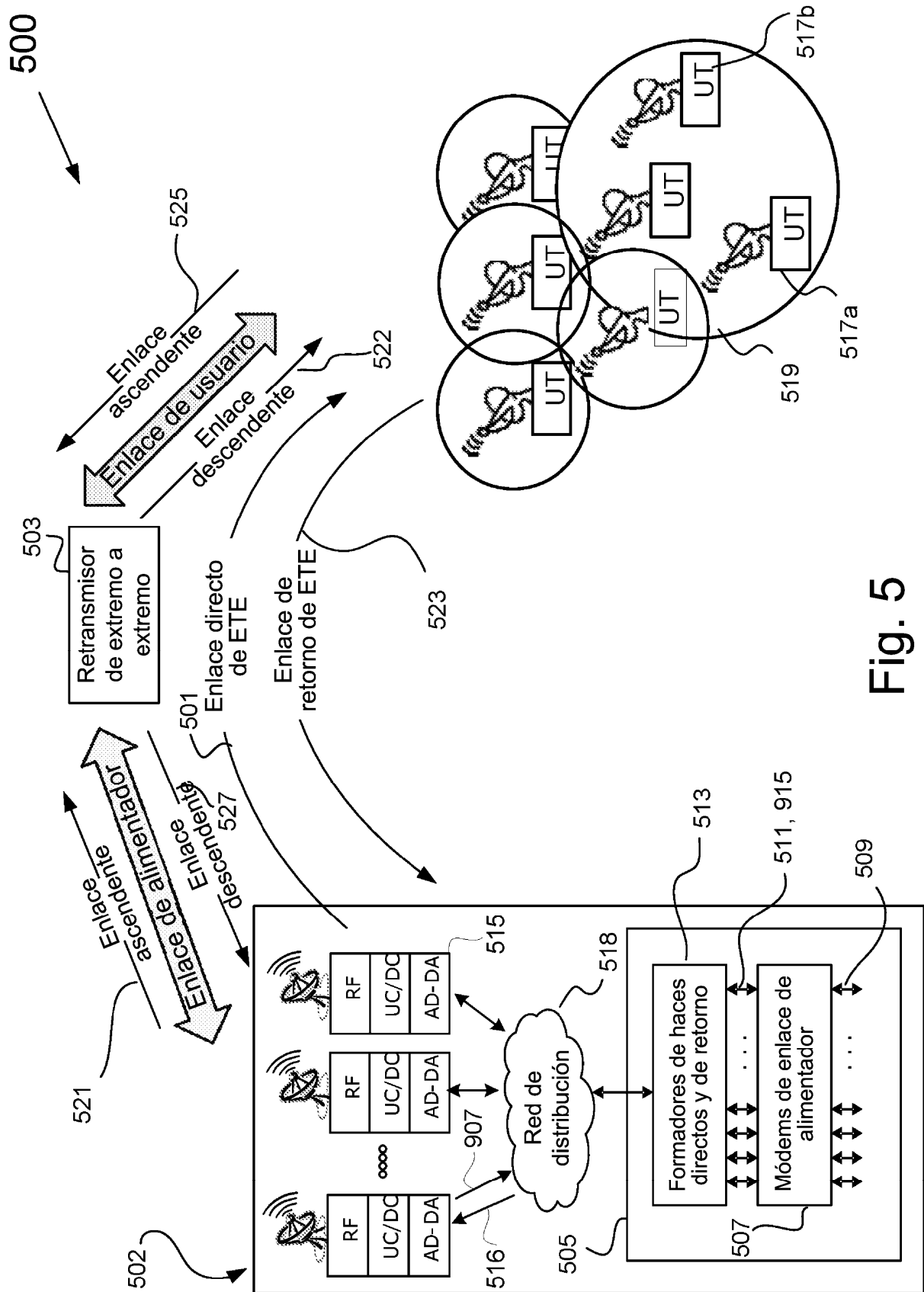


Fig. 5

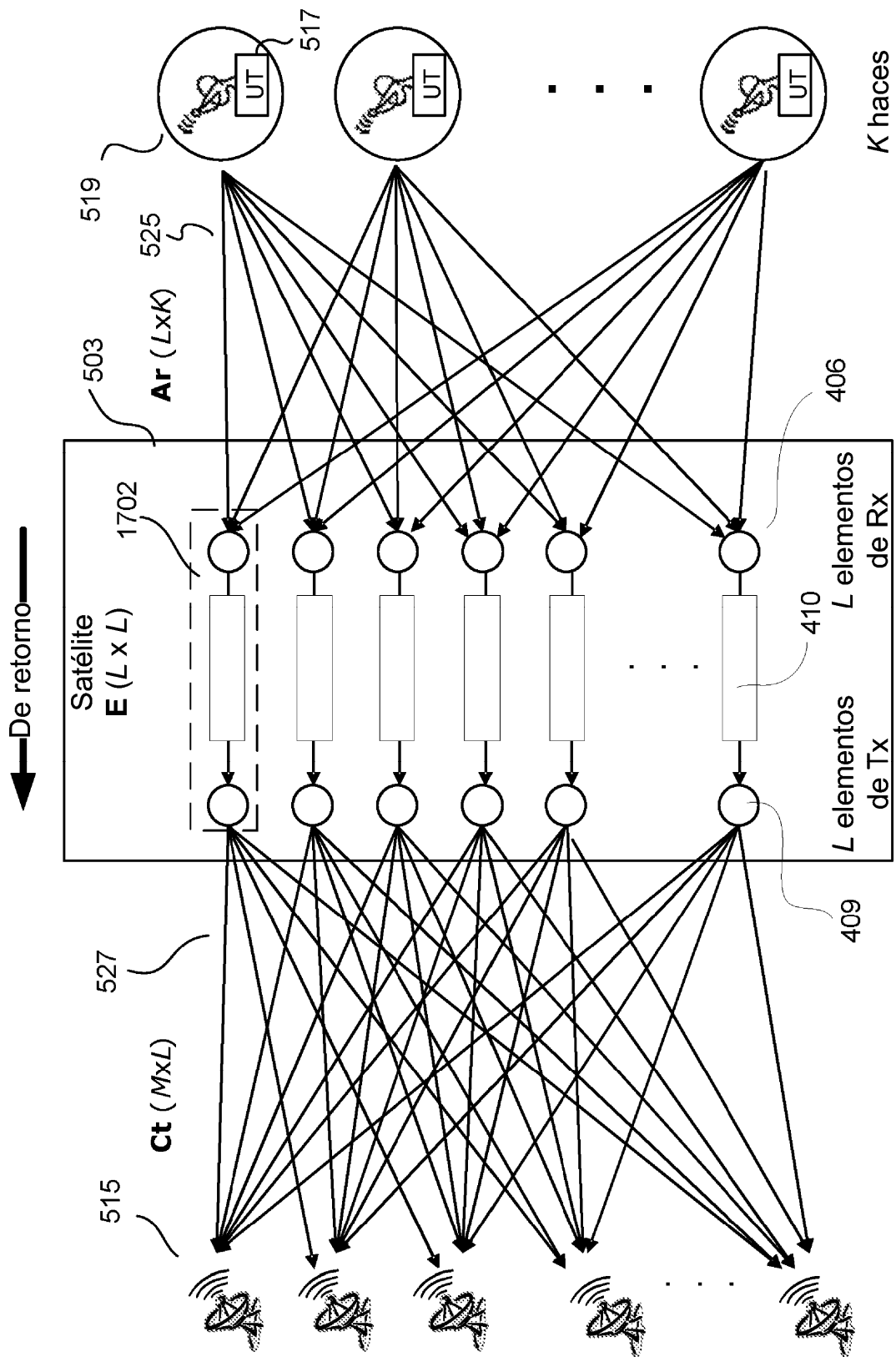


Fig. 6

MAN

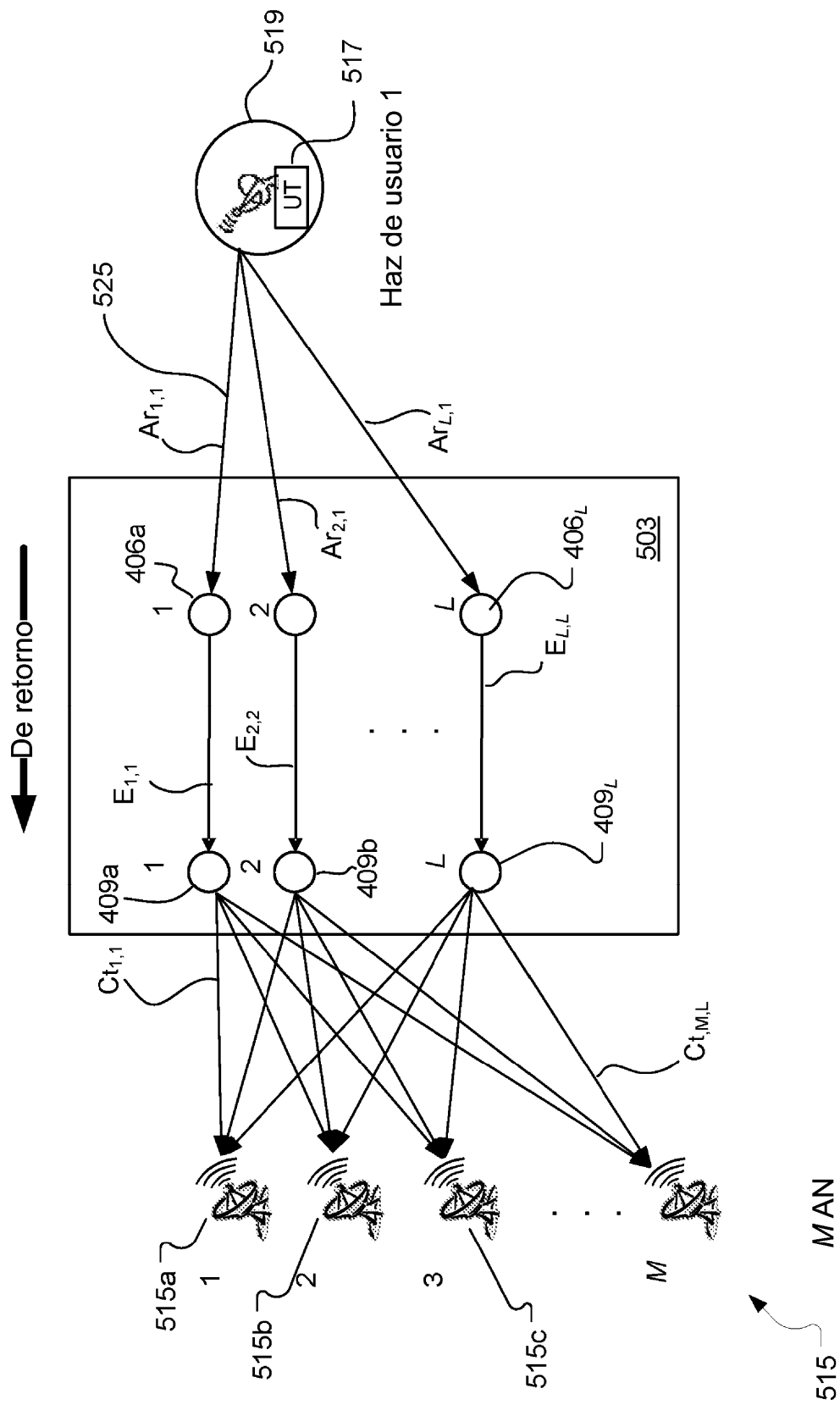


Fig. 7

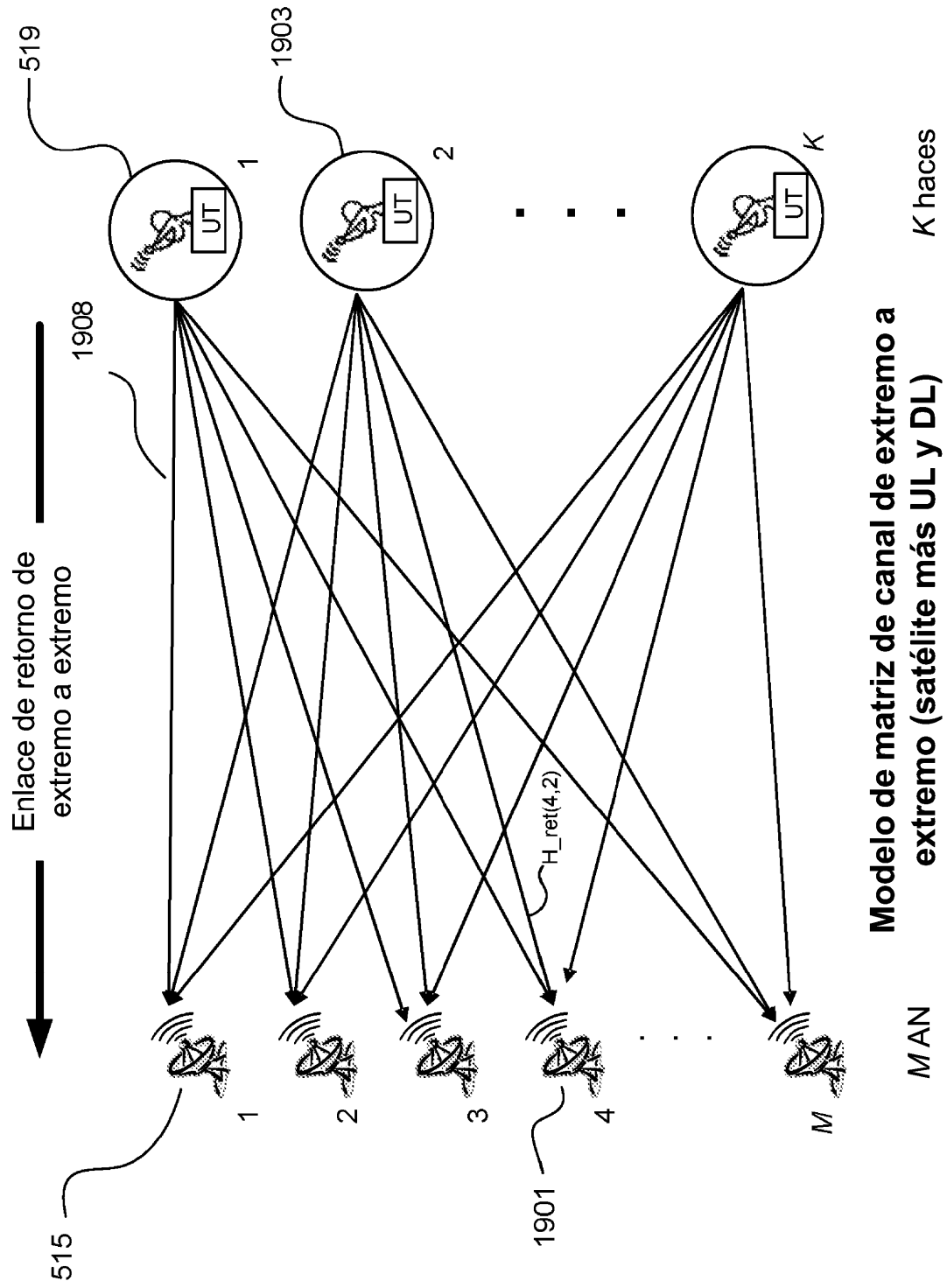


Fig. 8

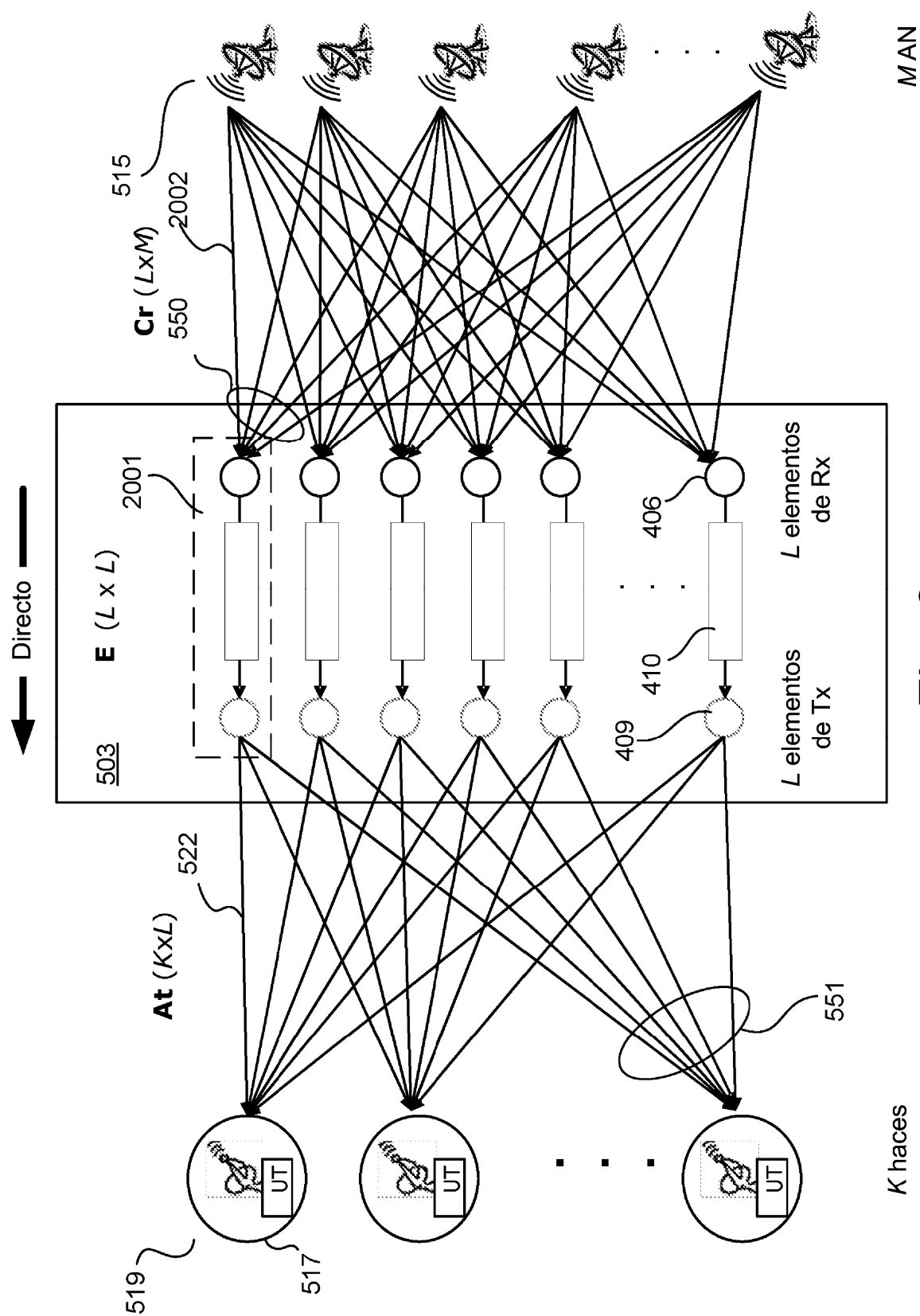


Fig. 9

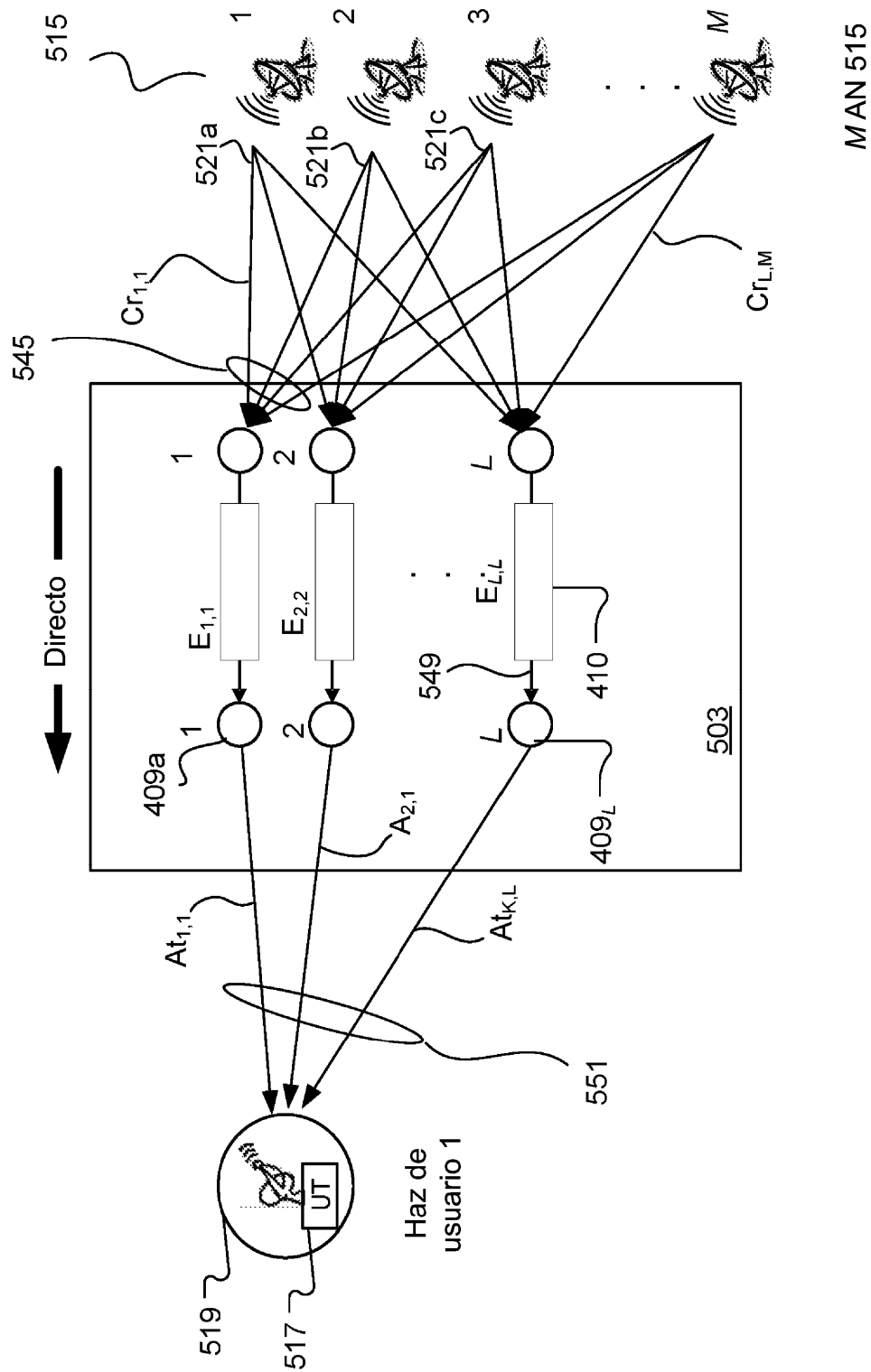


Fig. 10

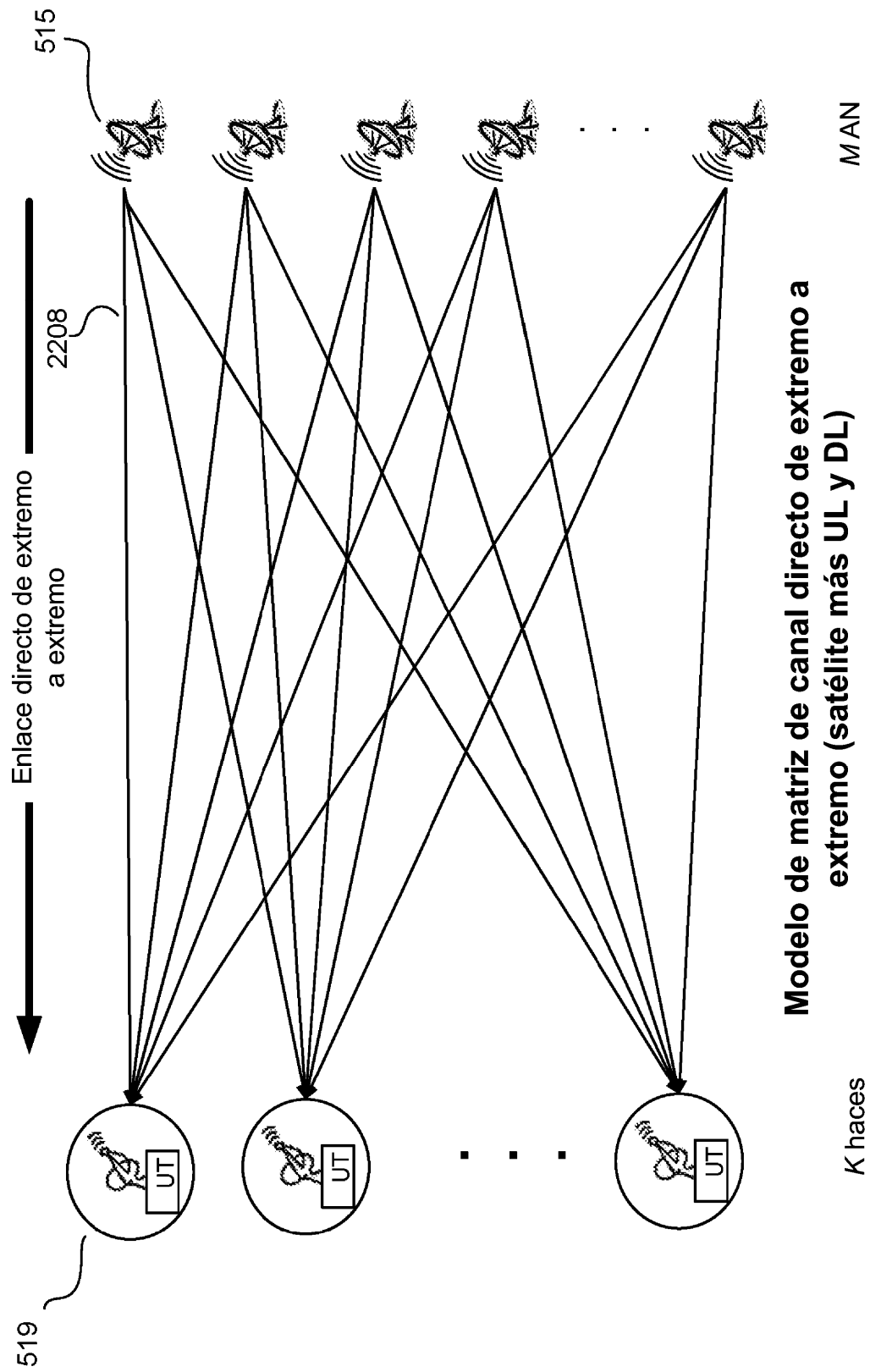


Fig. 11

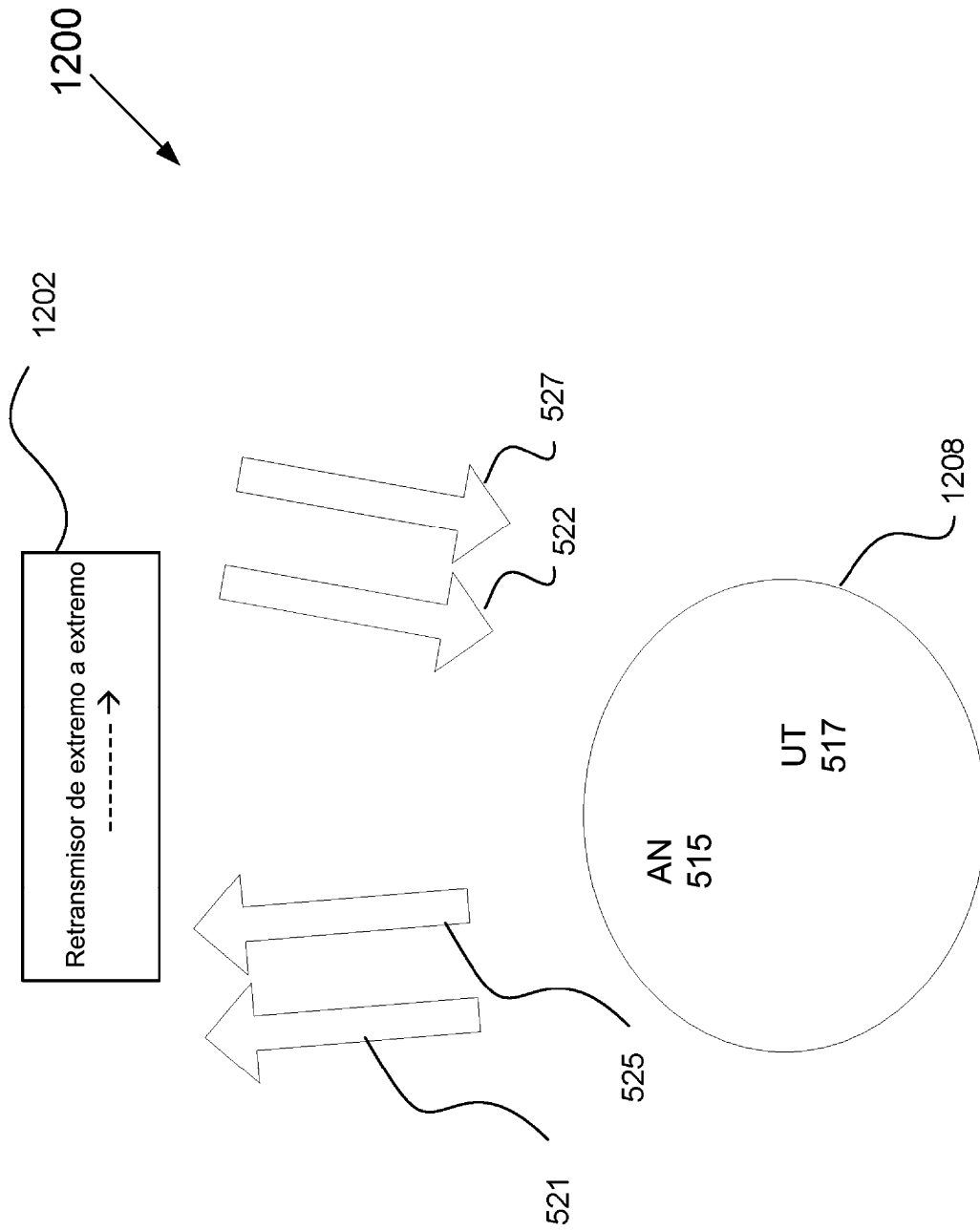


Fig. 12

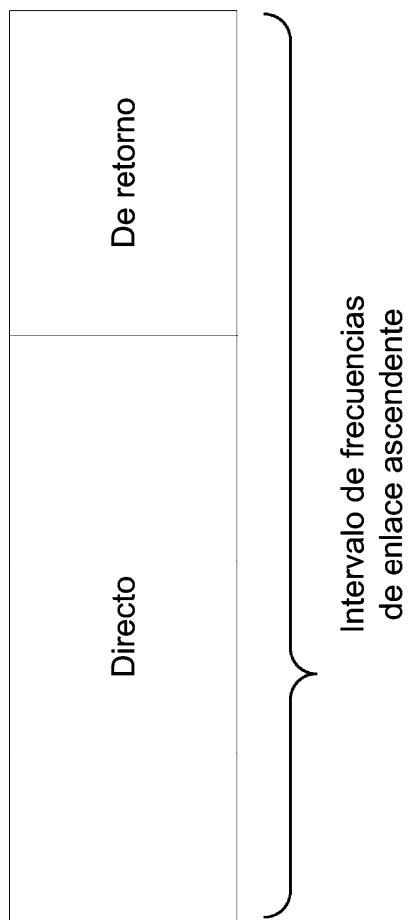


Fig. 13

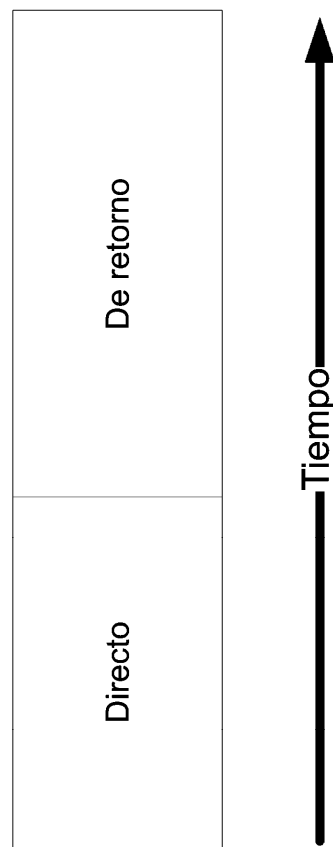


Fig. 14

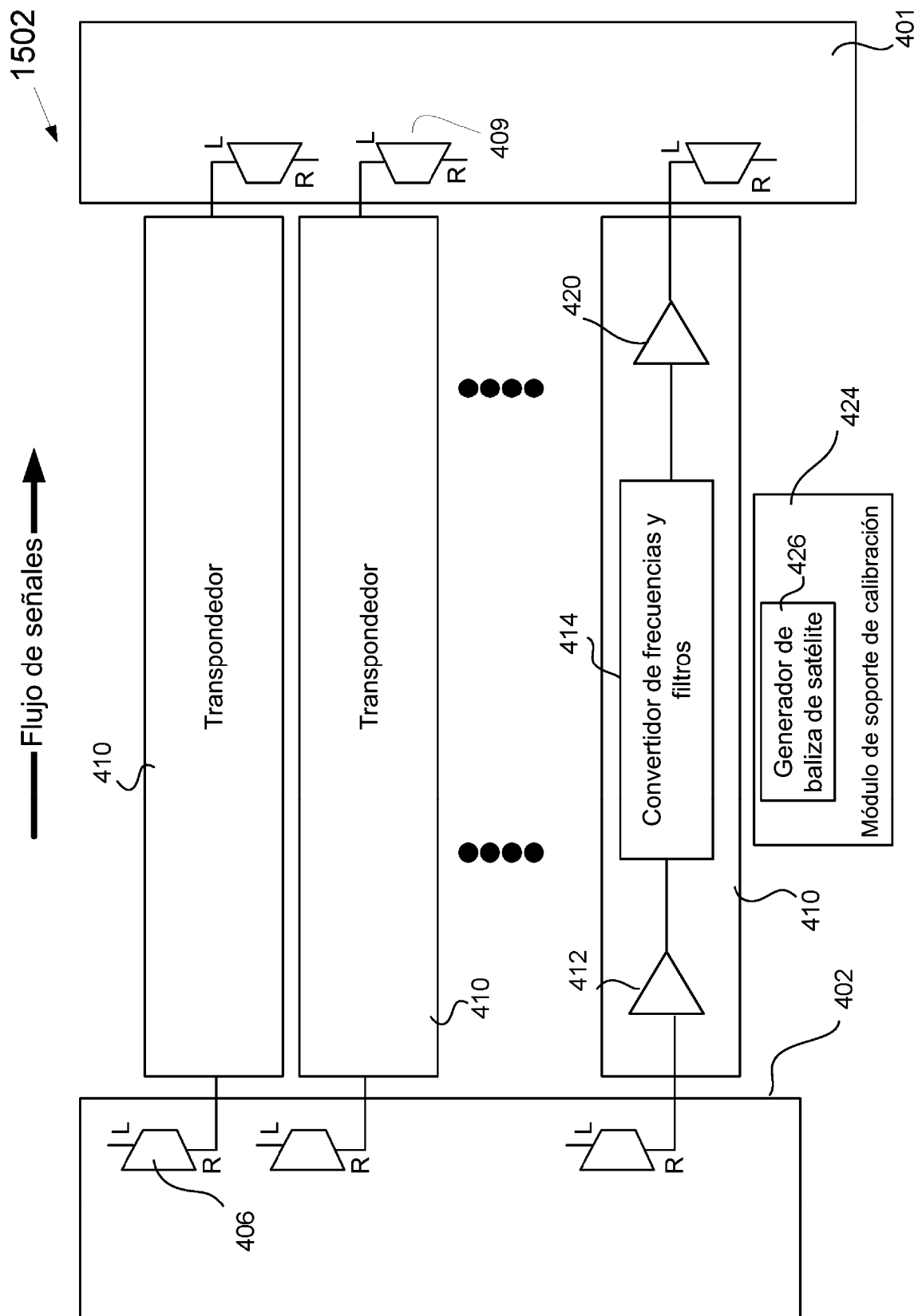


Fig. 15

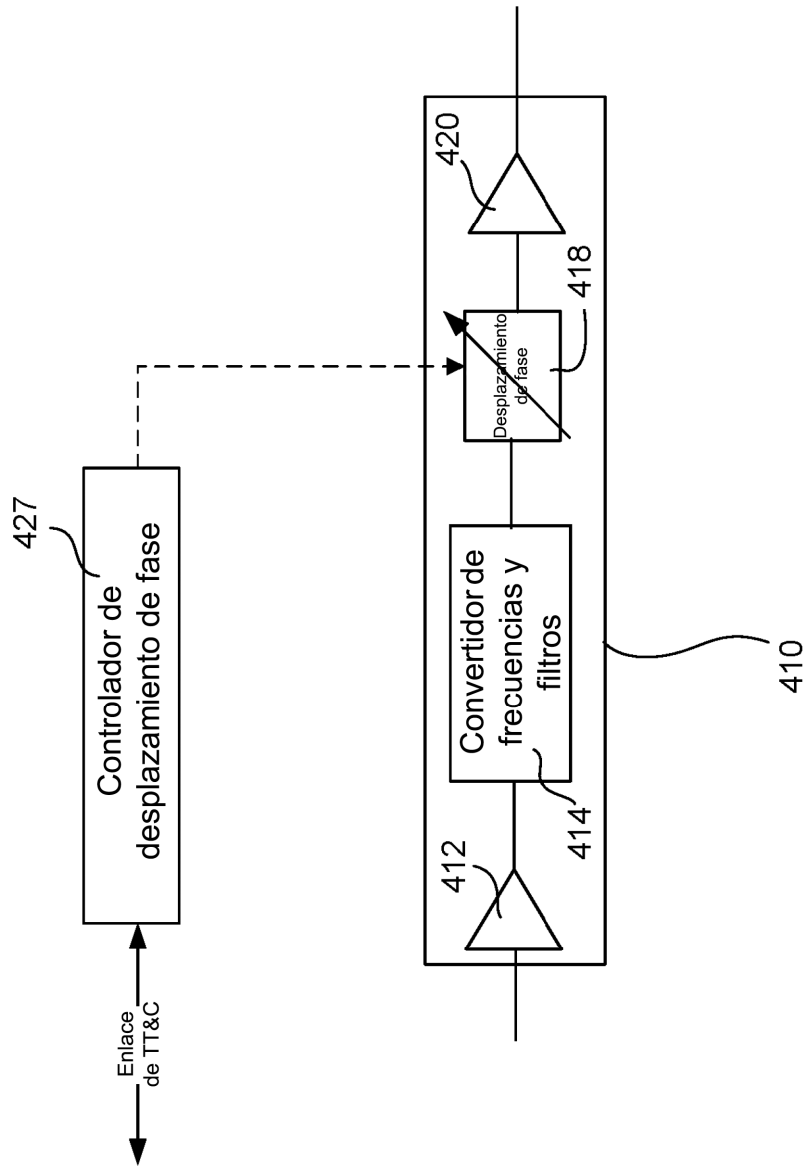


Fig. 16

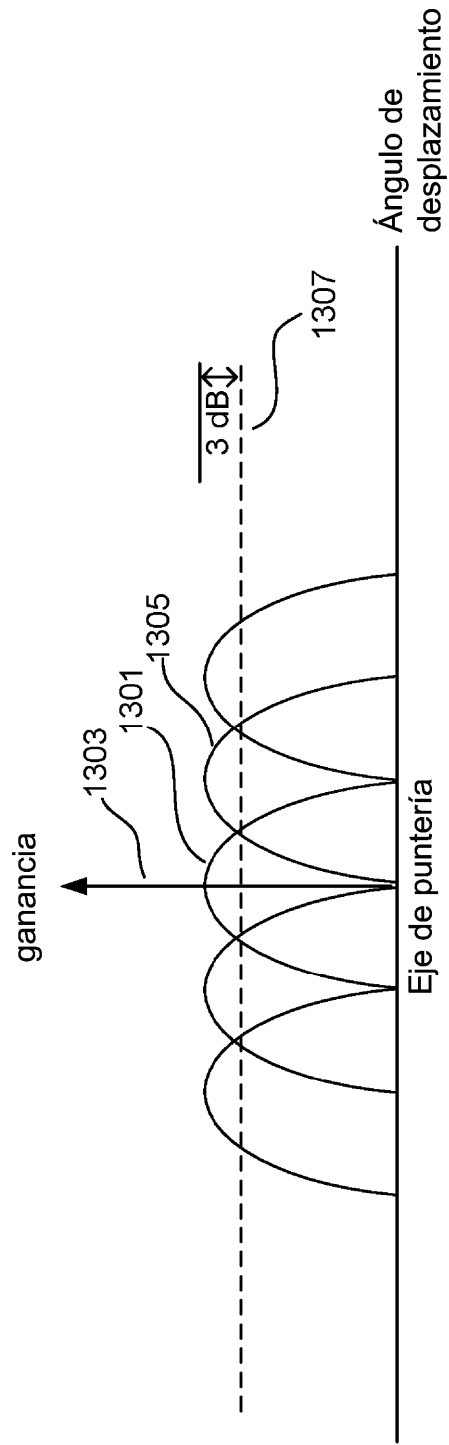


Fig. 17

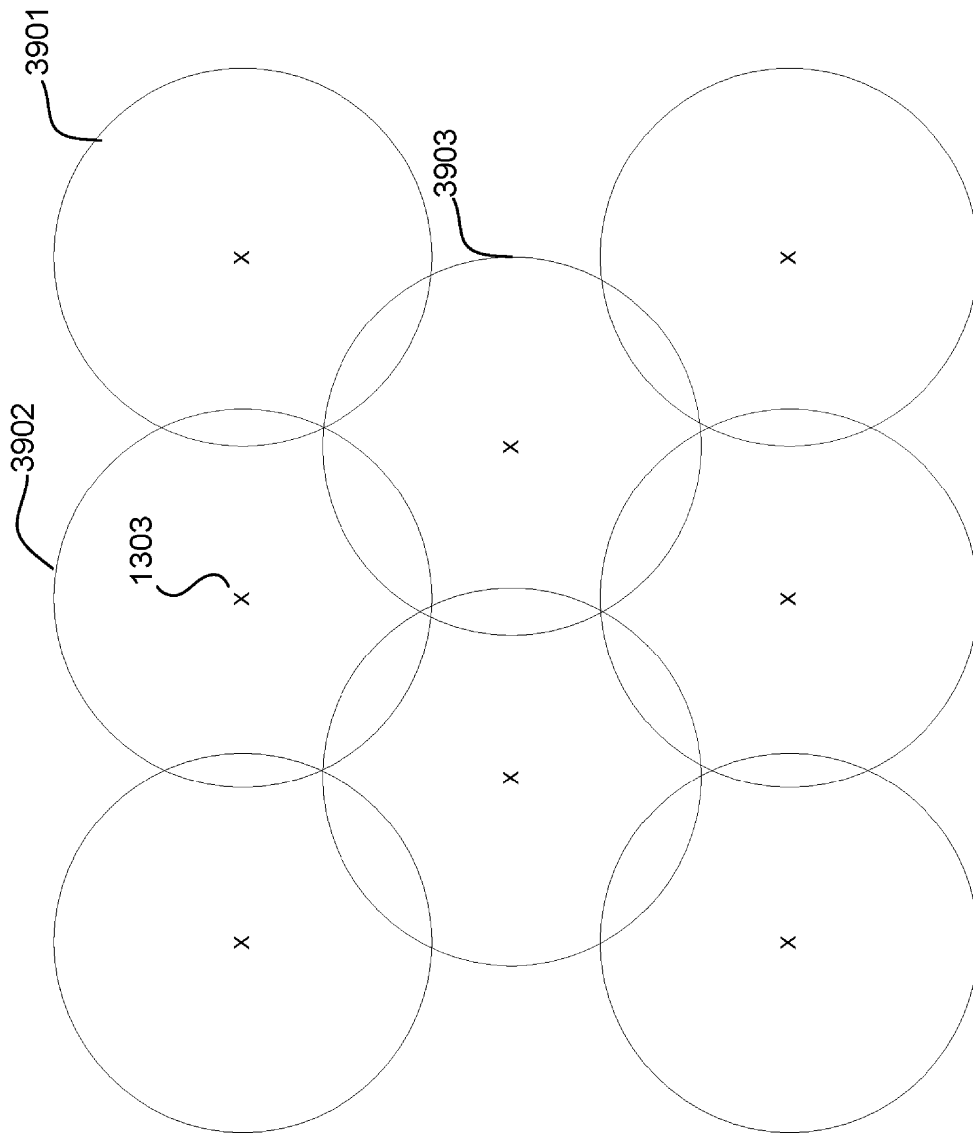


Fig. 18

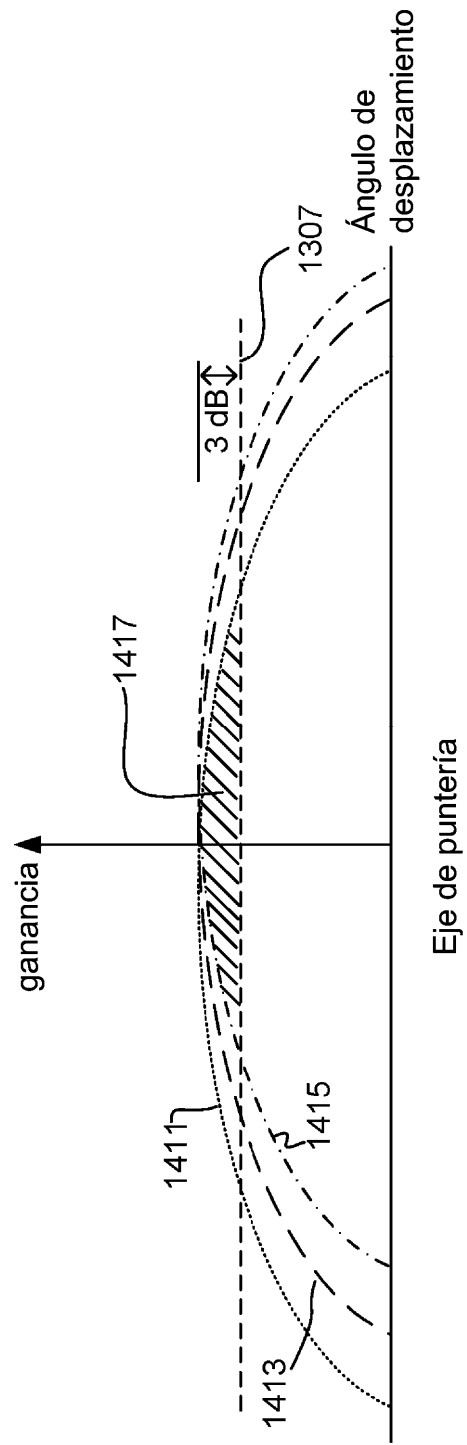


Fig. 19

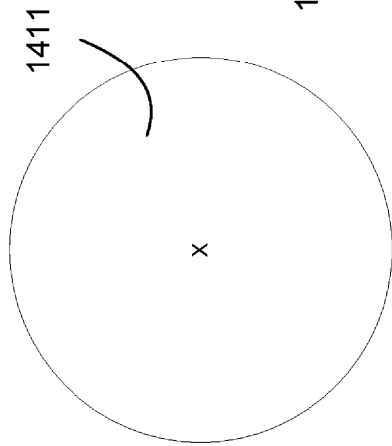


Fig. 20A

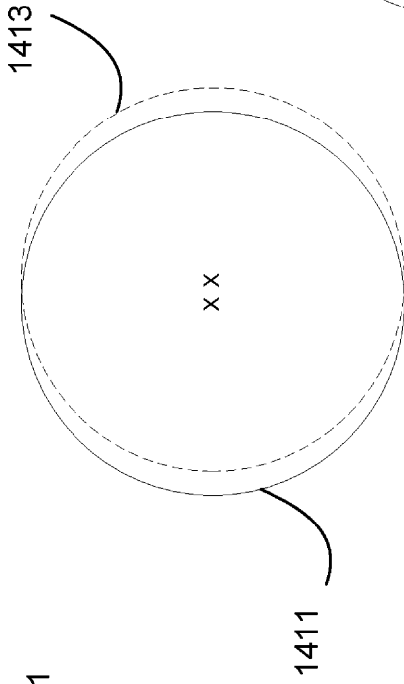


Fig. 20B

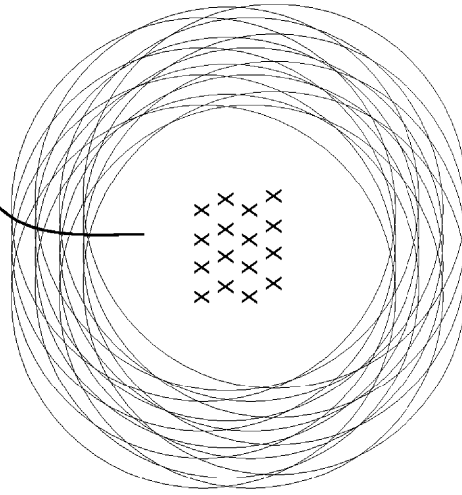


Fig. 20E

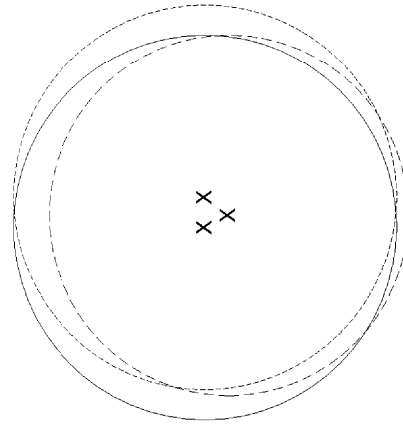


Fig. 20C

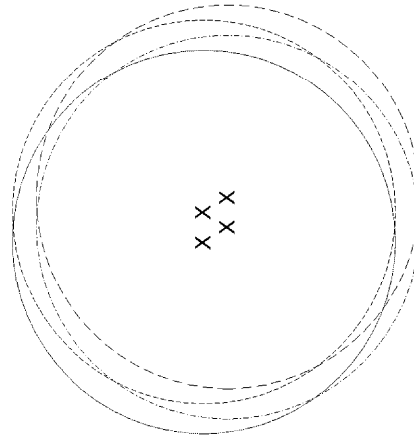


Fig. 20D

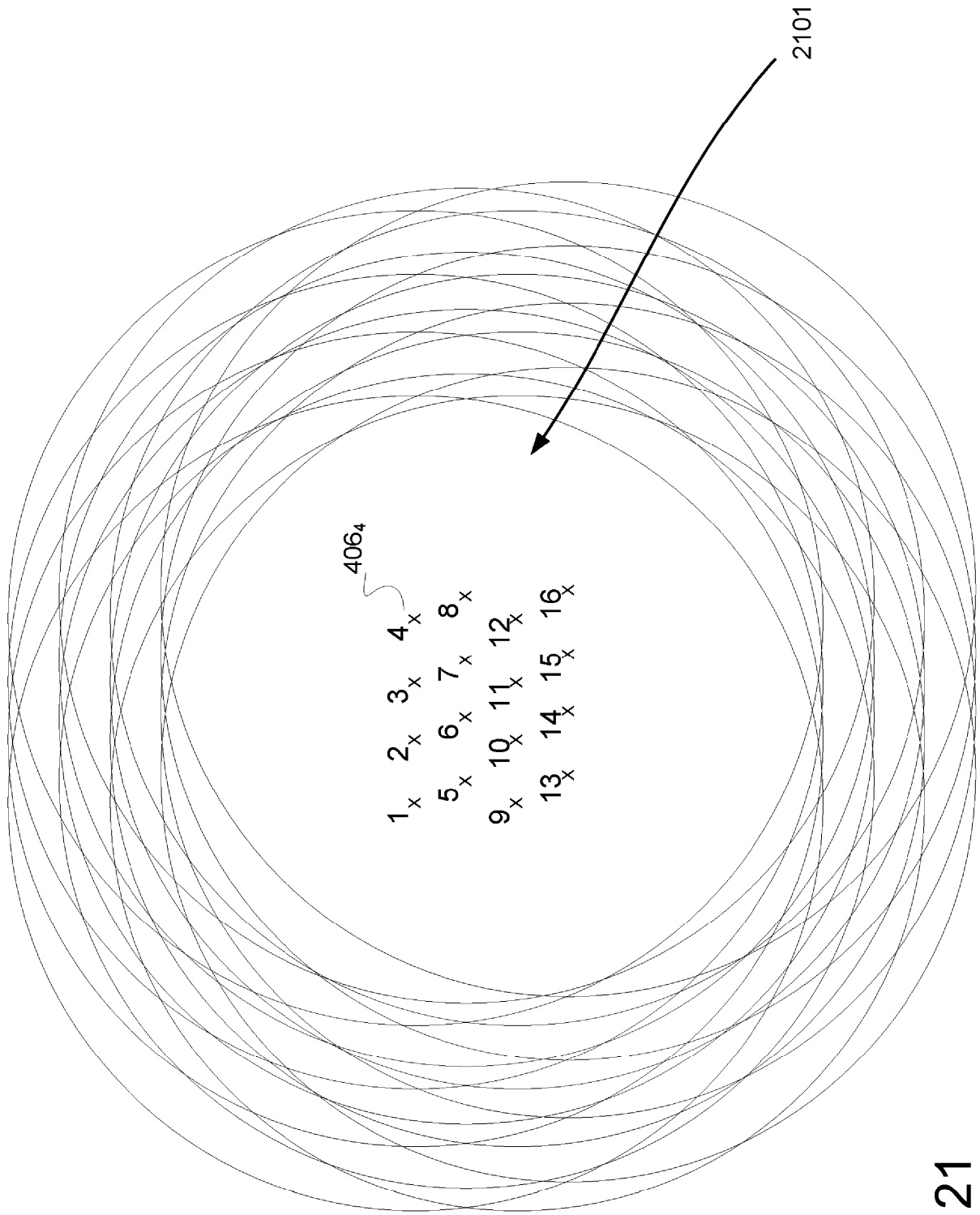


Fig. 21

4202

4200

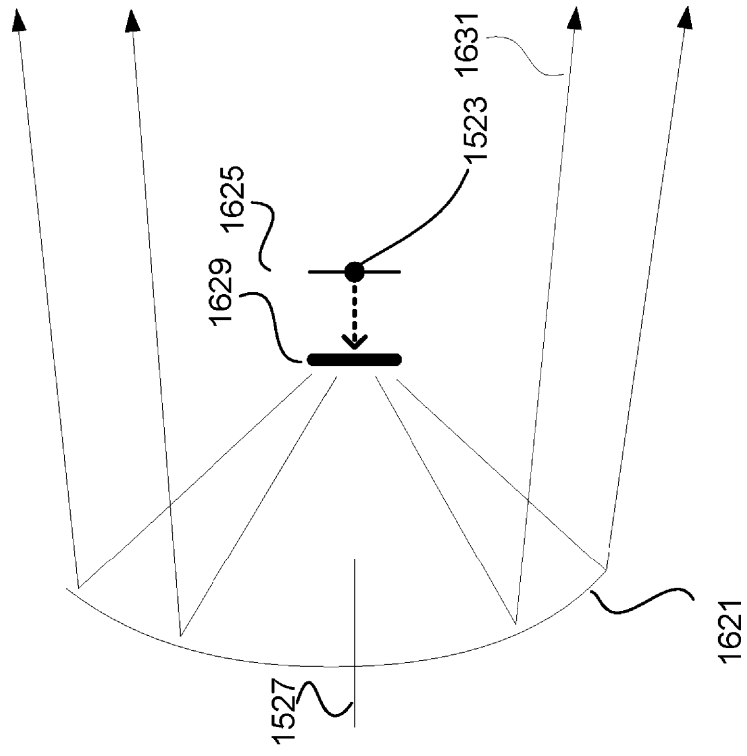
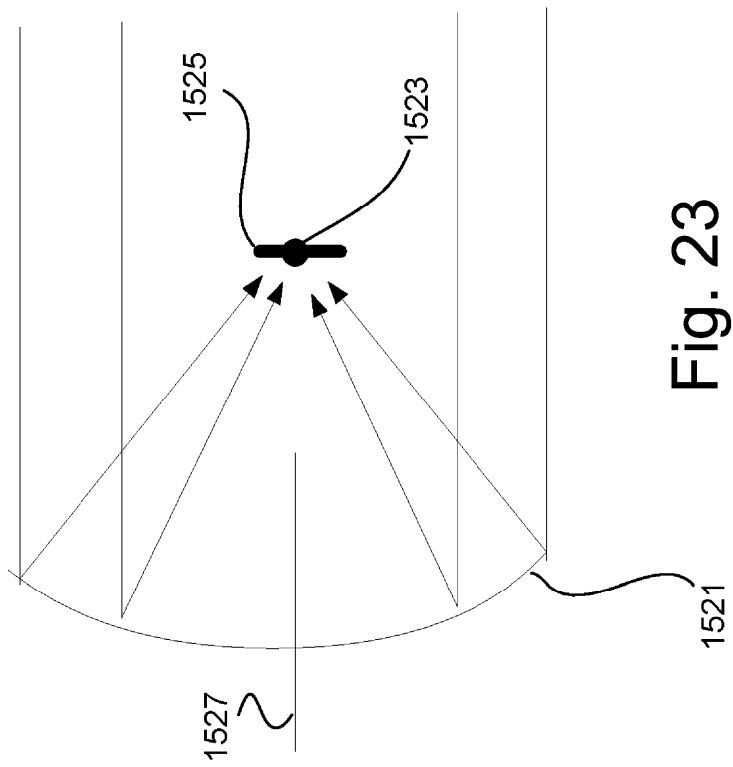
4204

4206

4208

Transpondedor	CORRELACIÓN DIRECTA		CORRELACIÓN INTERCALADA	
	ELEMENTO DE RX	ELEMENTO DE TX	ELEMENTO DE TX	ELEMENTO DE TX
1	1	1		10
2	2	2		9
3	3	3		4
4	4	4		16
5	5	5		1
6	6	6		14
7	7	7		3
8	8	8		12
9	9	9		13
10	10	10		15
11	11	11		8
12	12	12		5
13	13	13		11
14	14	14		6
15	15	15		2
16	16	16		7

Fig. 22



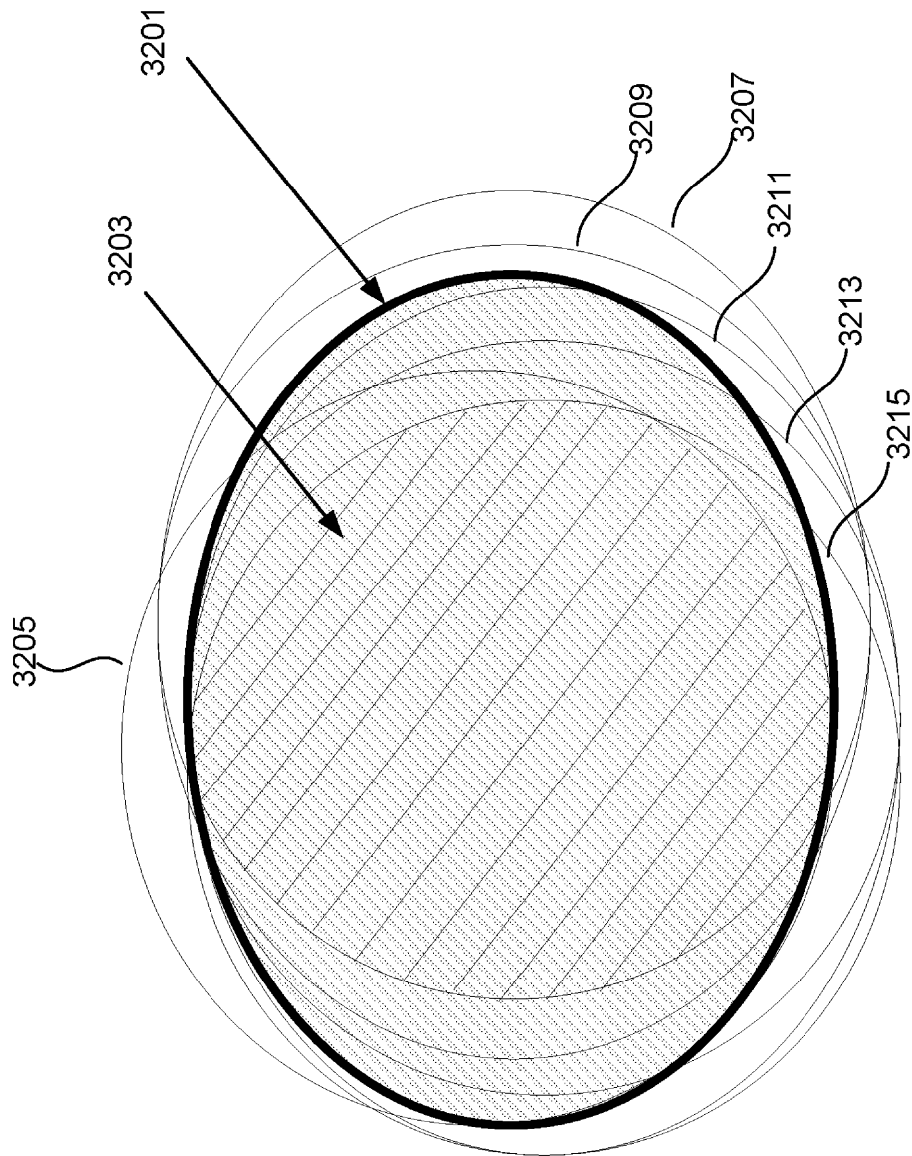


Fig. 25

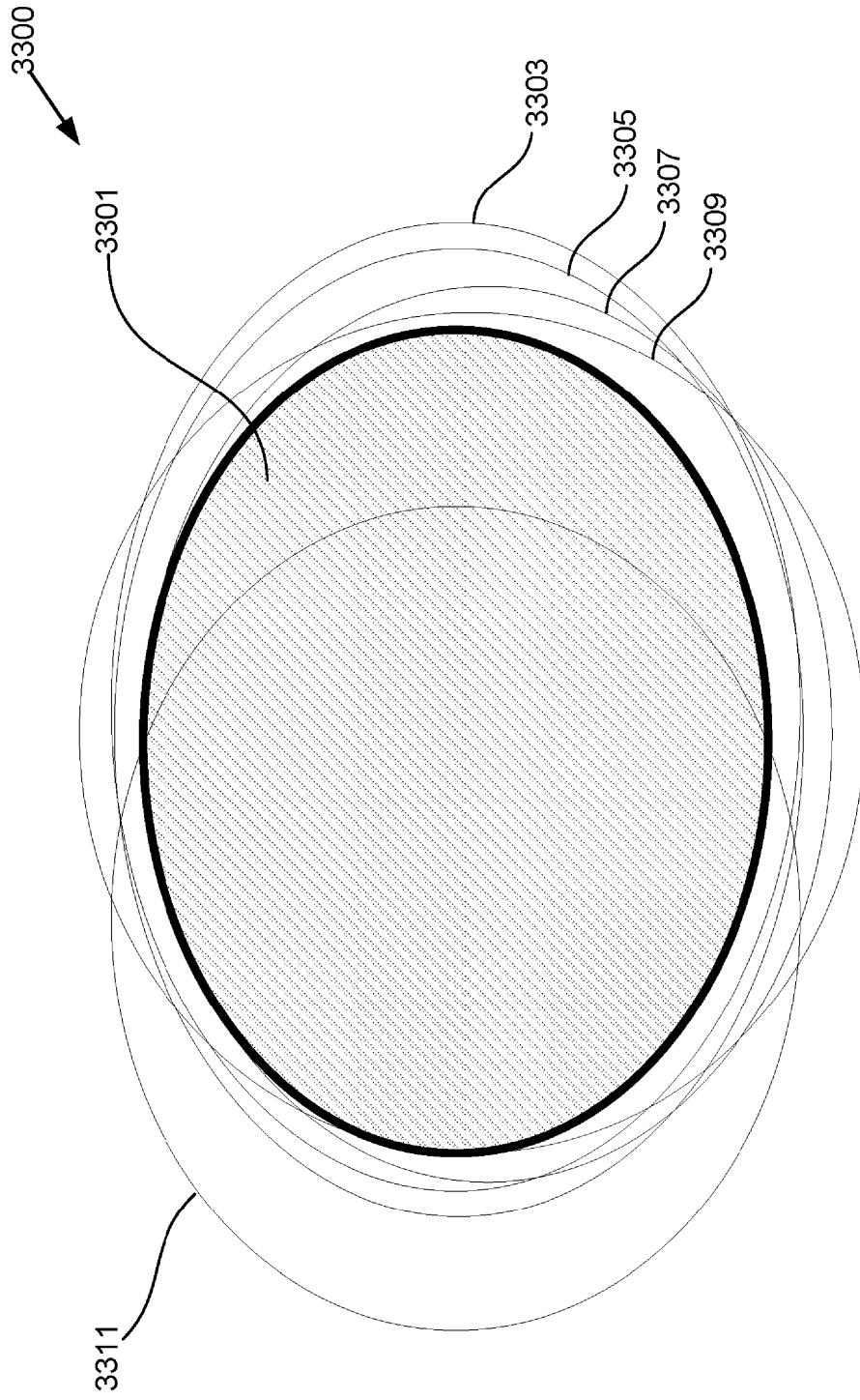


Fig. 26

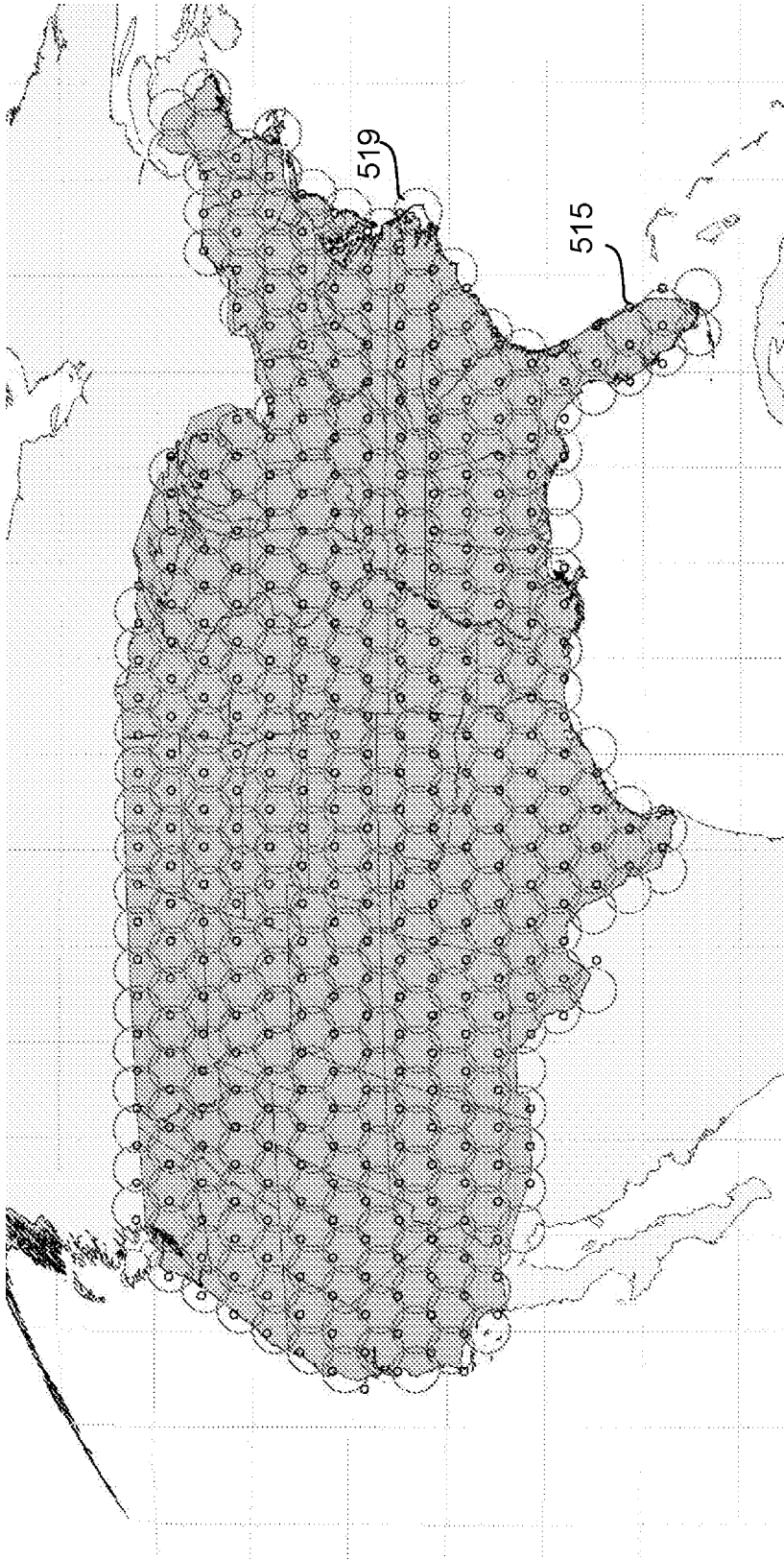


Fig. 27

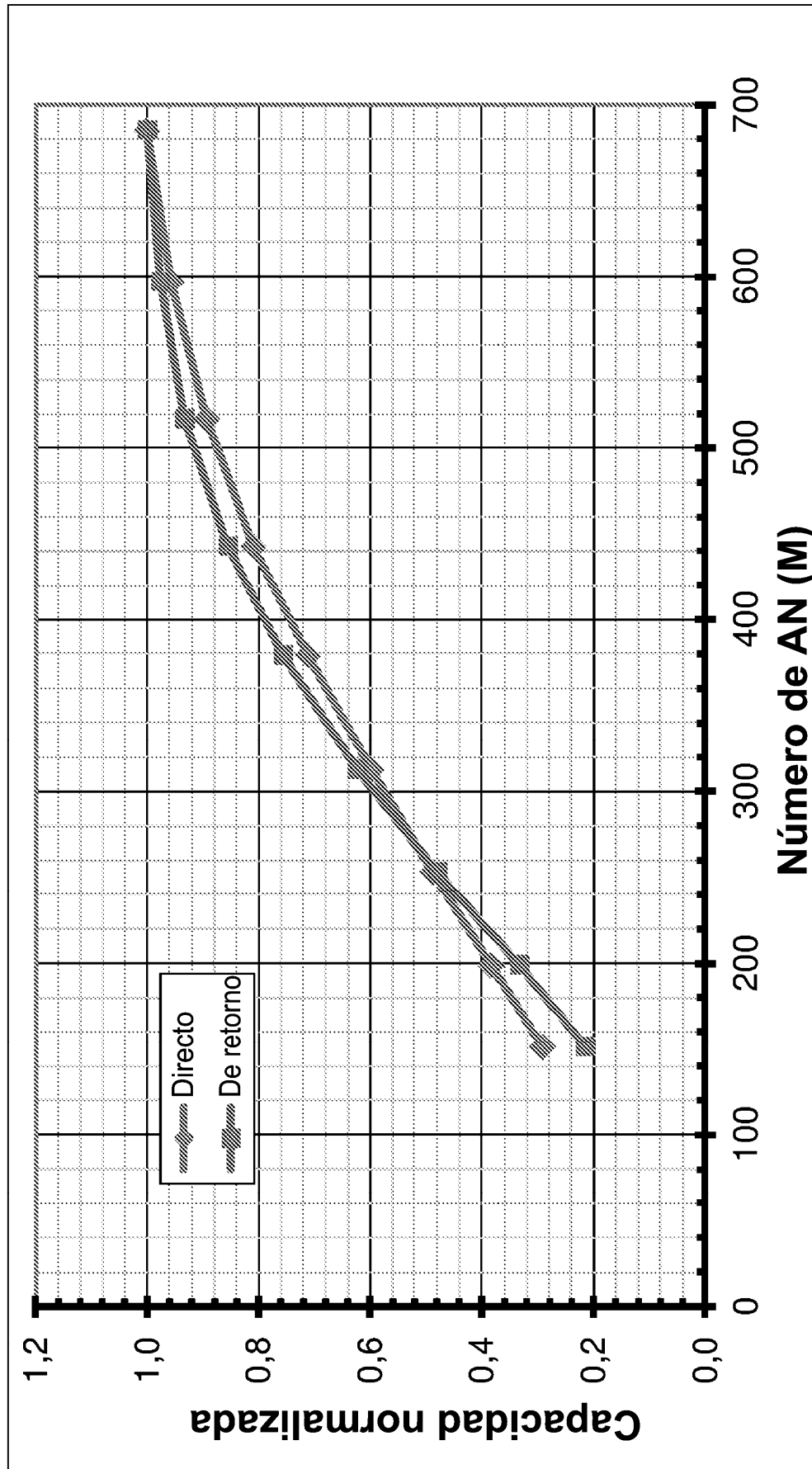


Fig. 28

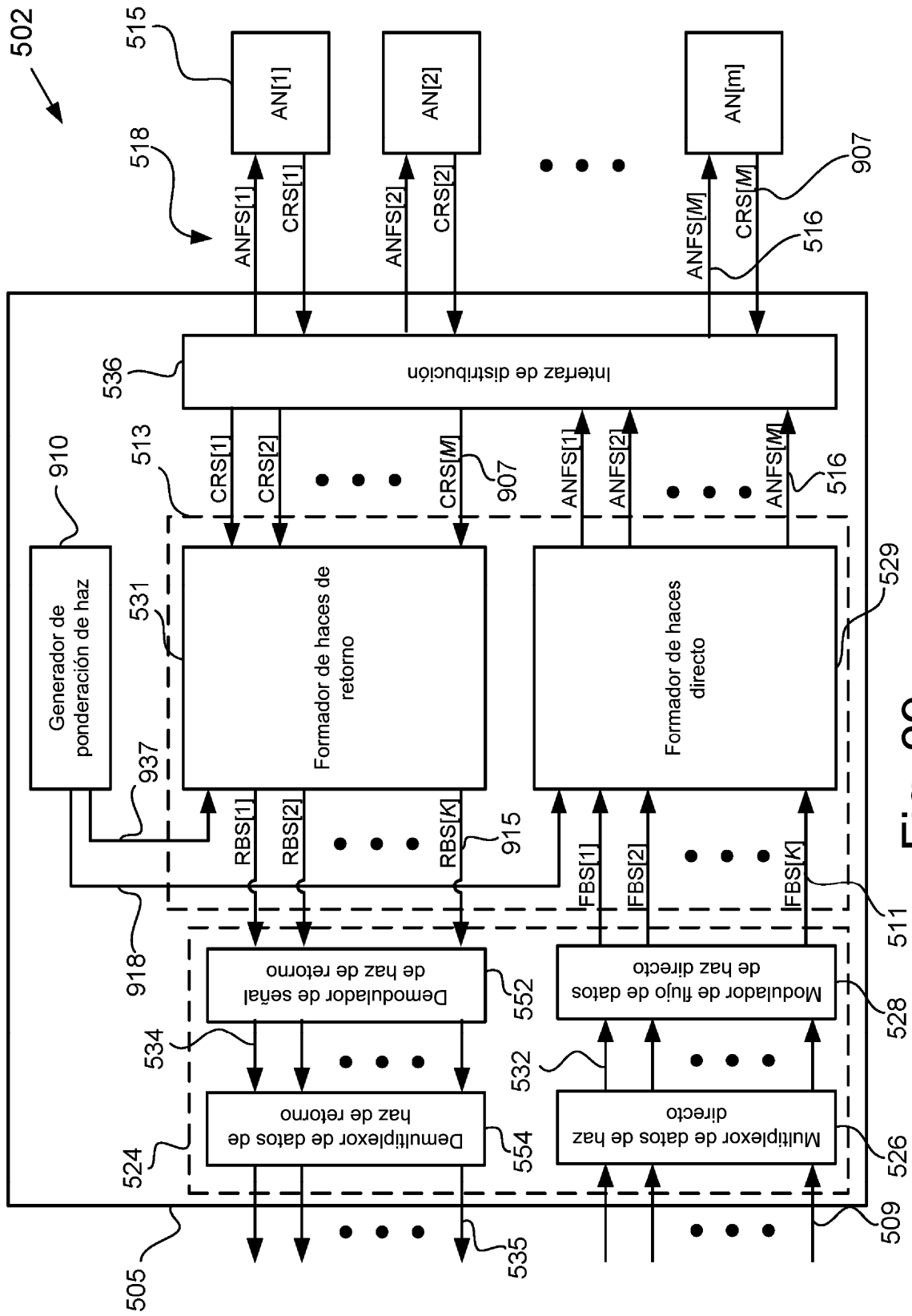


Fig. 29

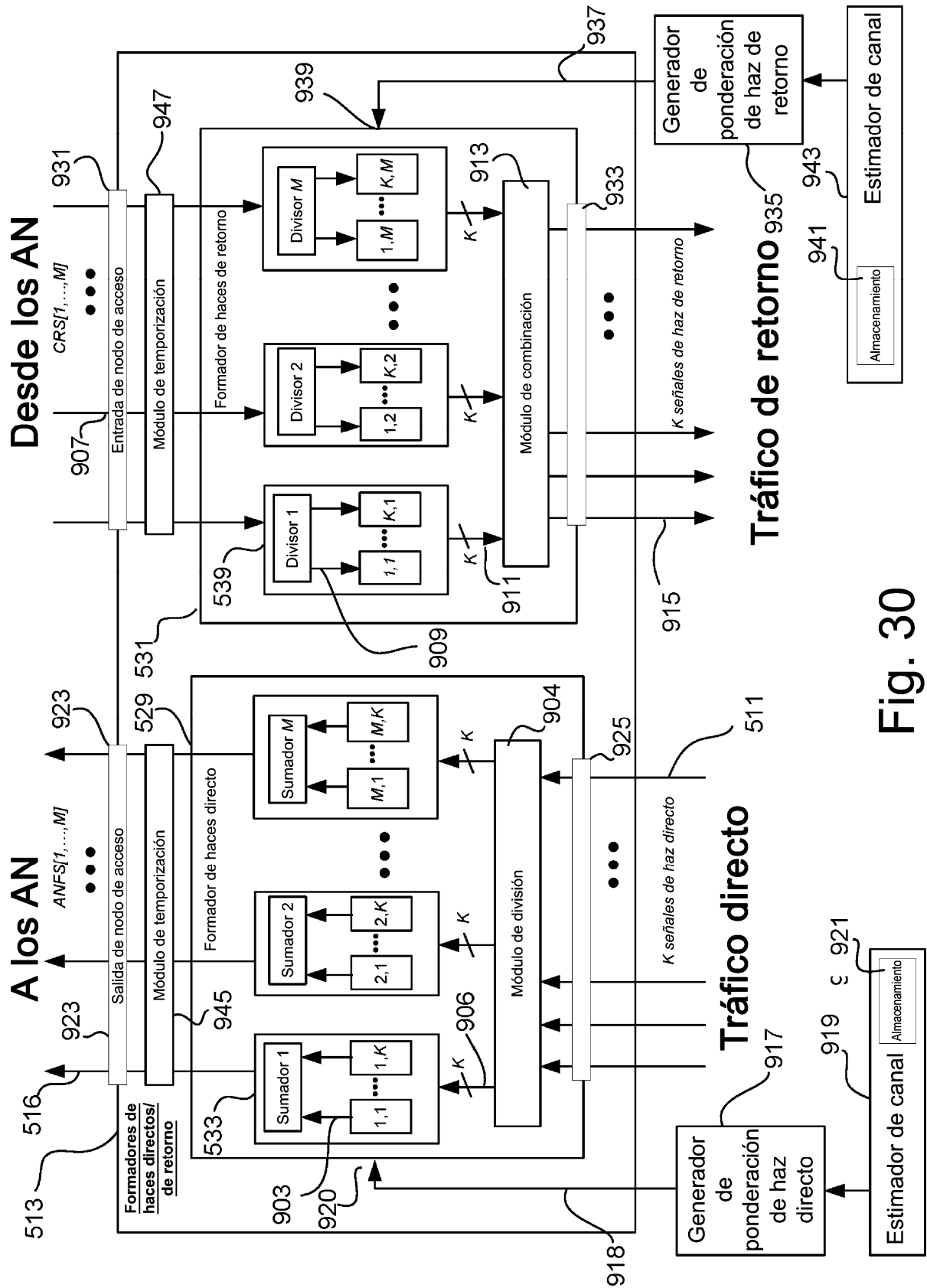


Fig. 30

529

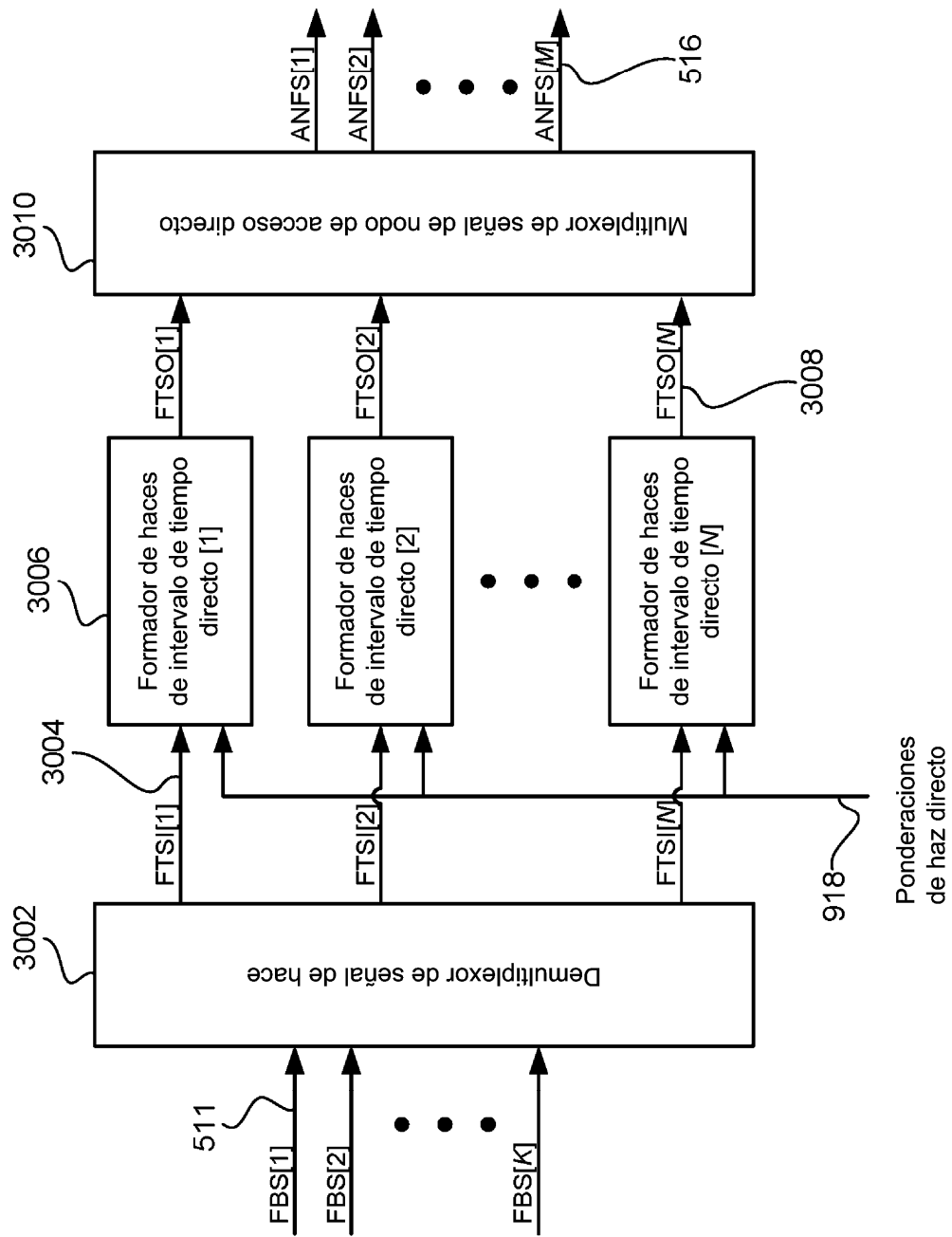


Fig. 31

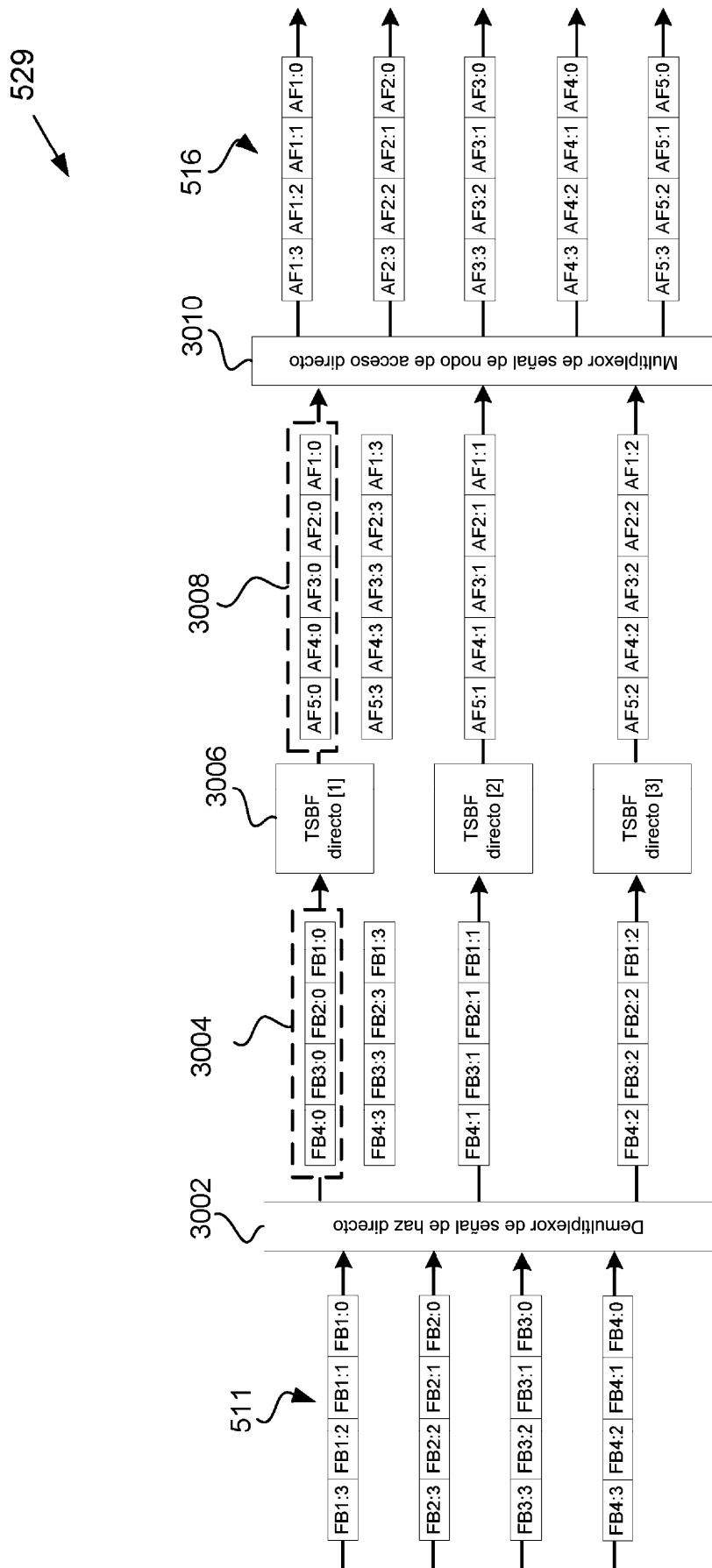


Fig. 32

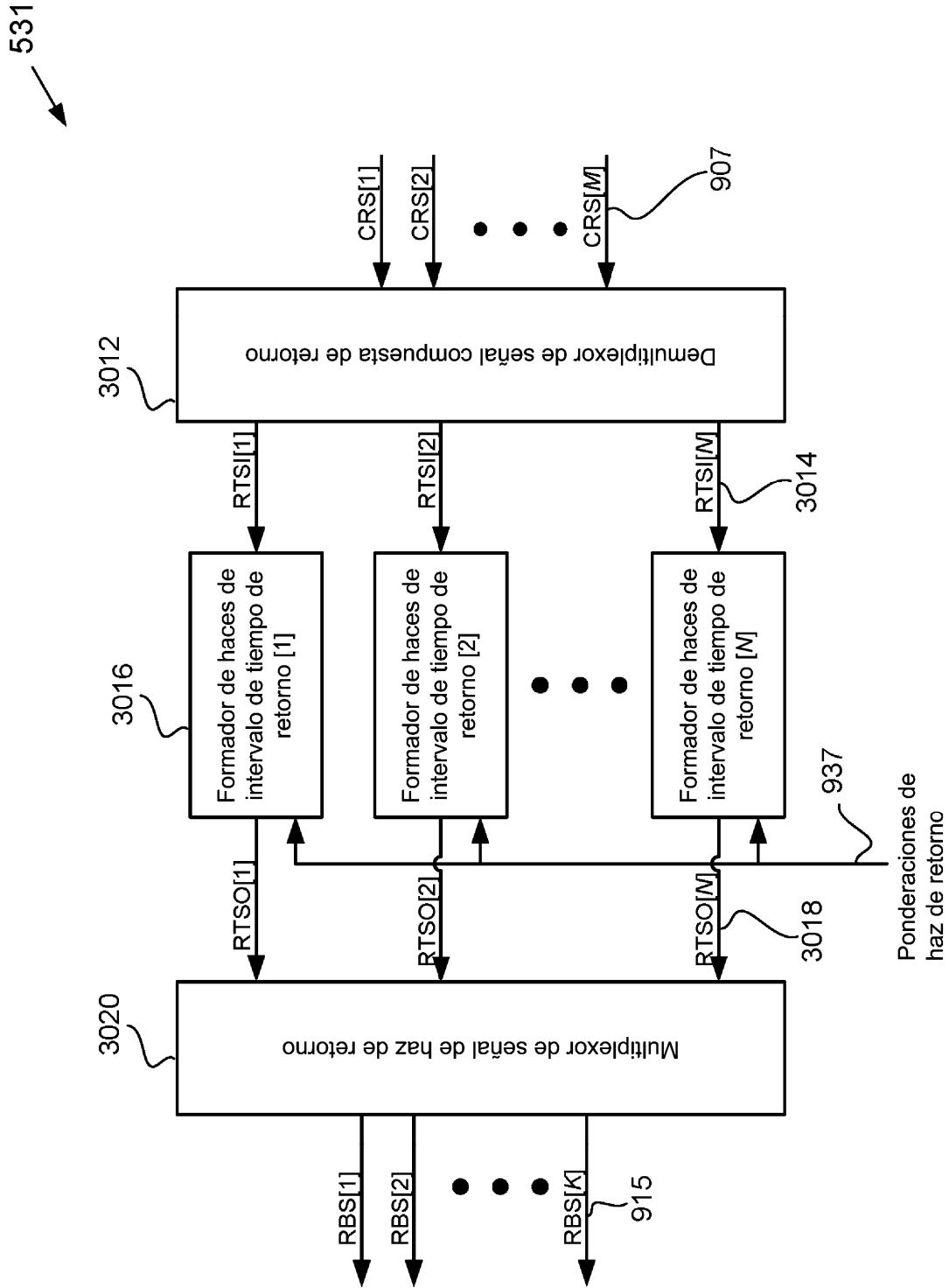


Fig. 33

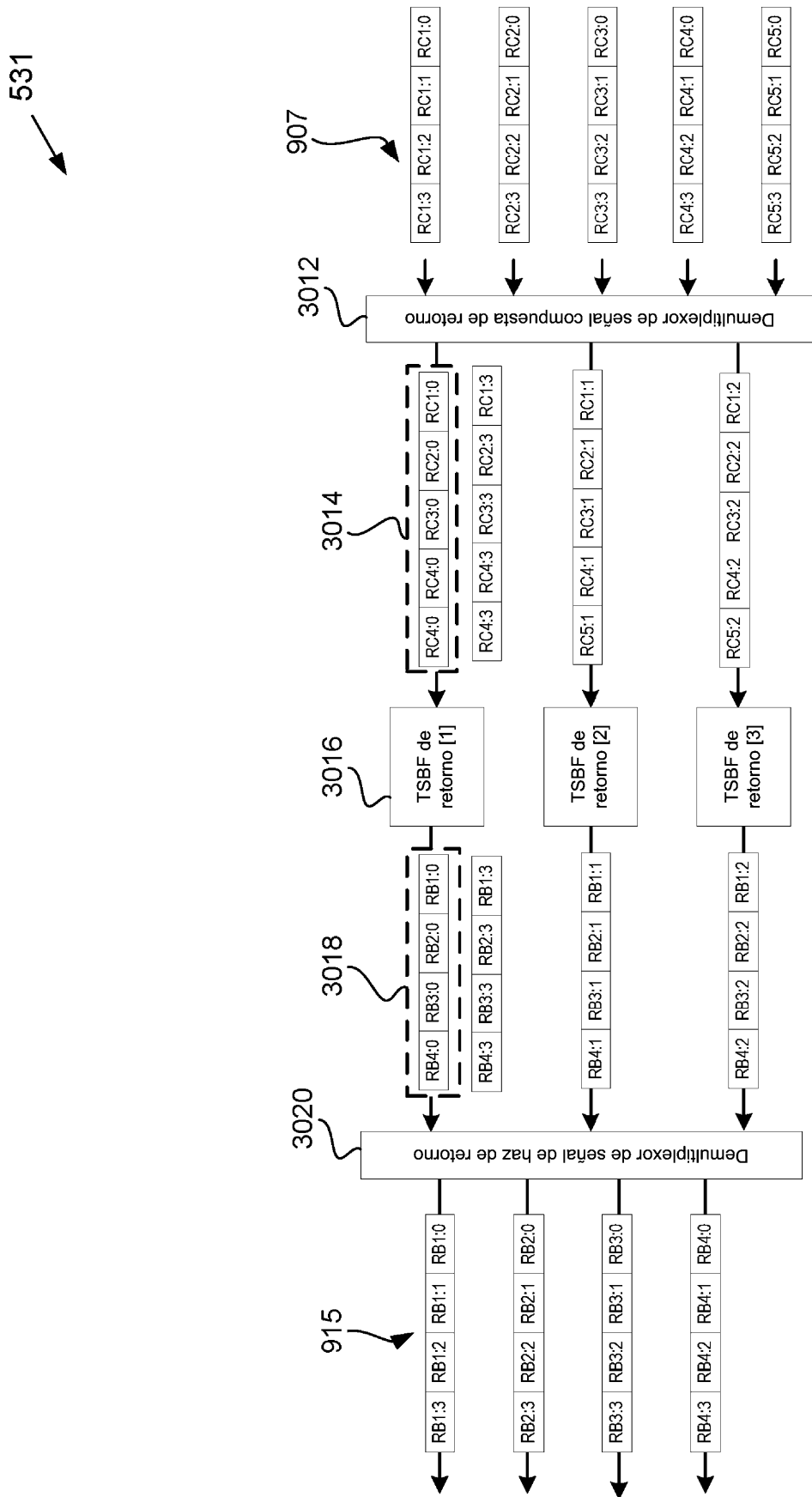


Fig. 34

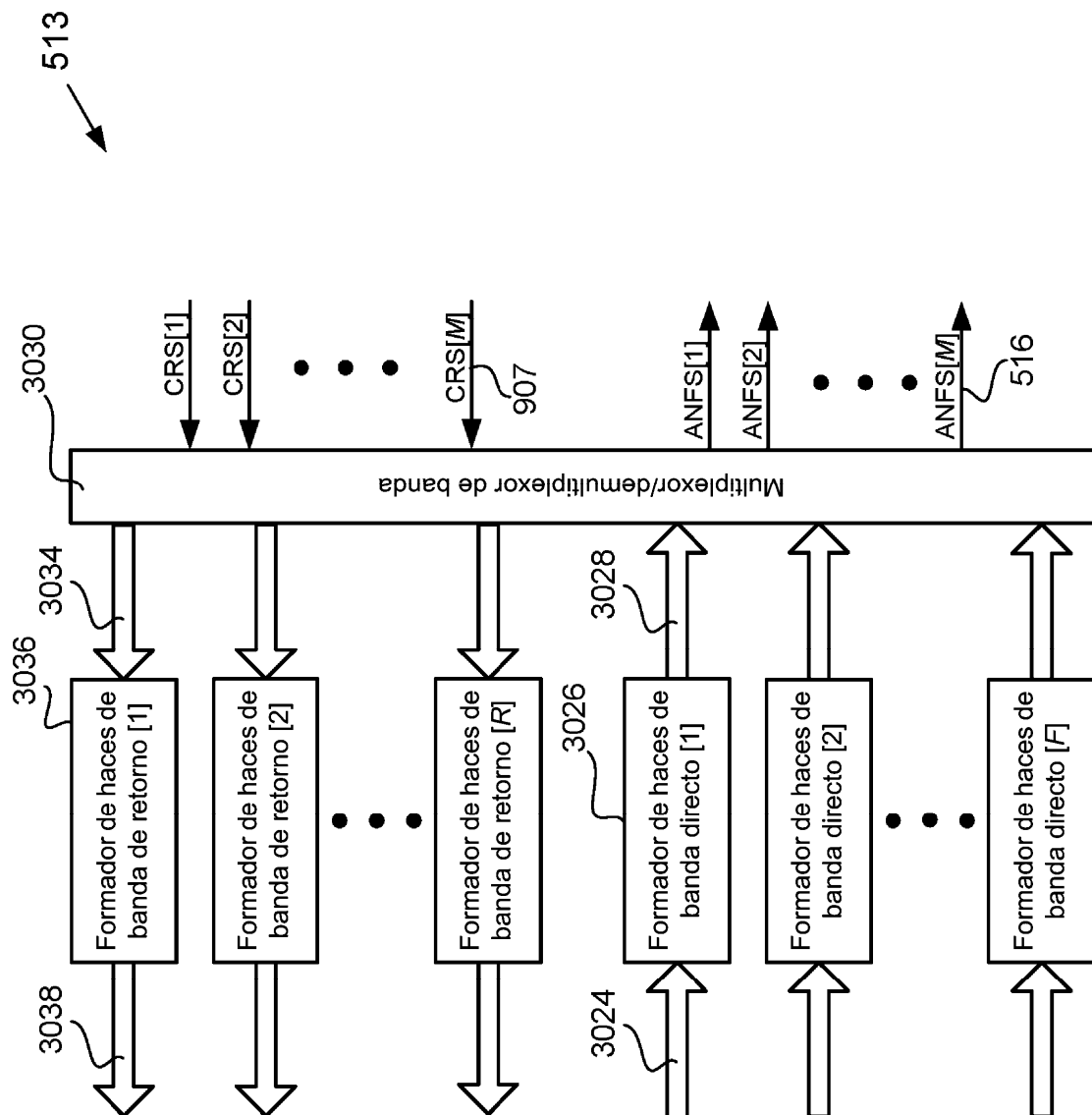


Fig. 35

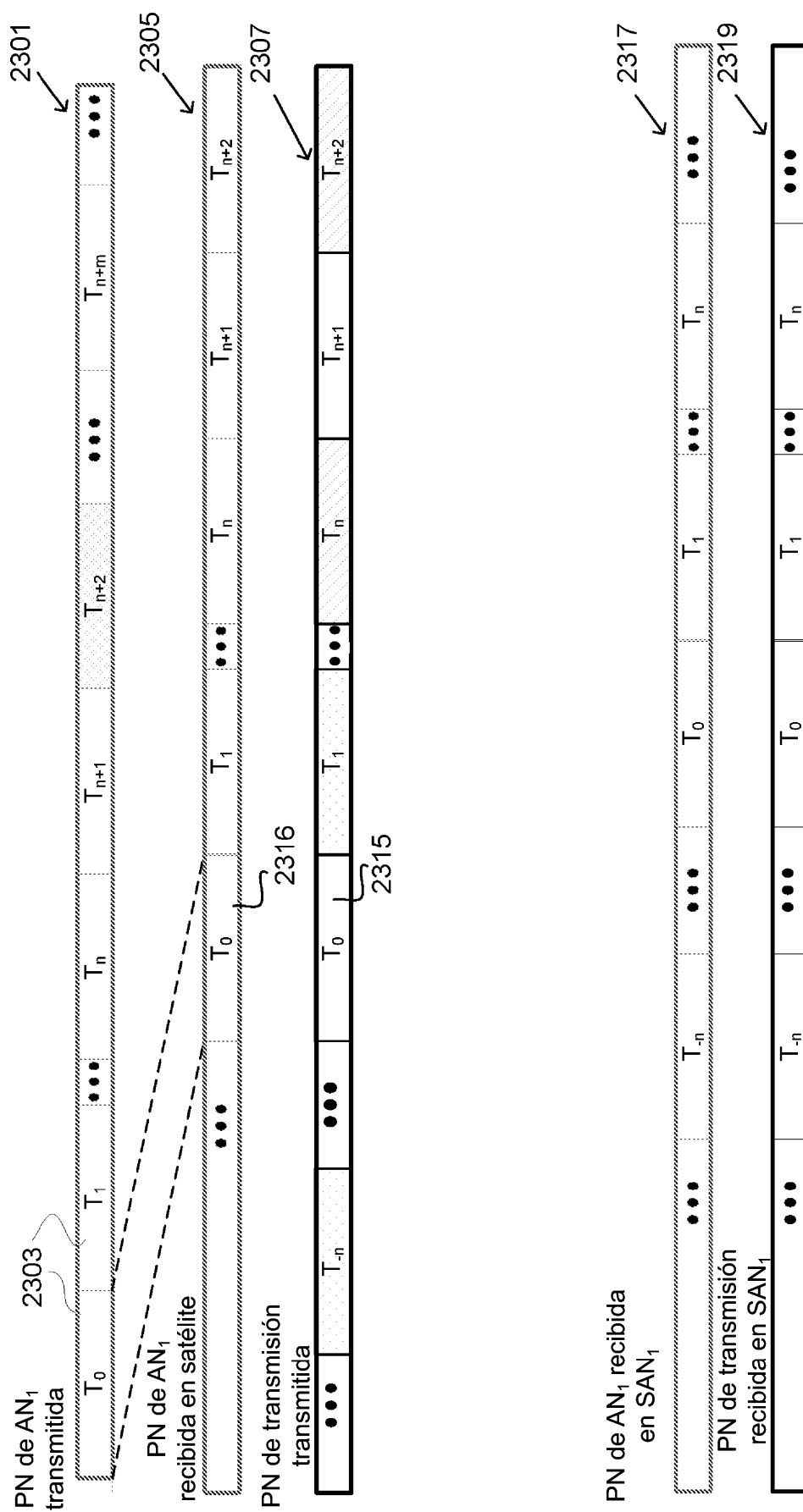


Fig. 36

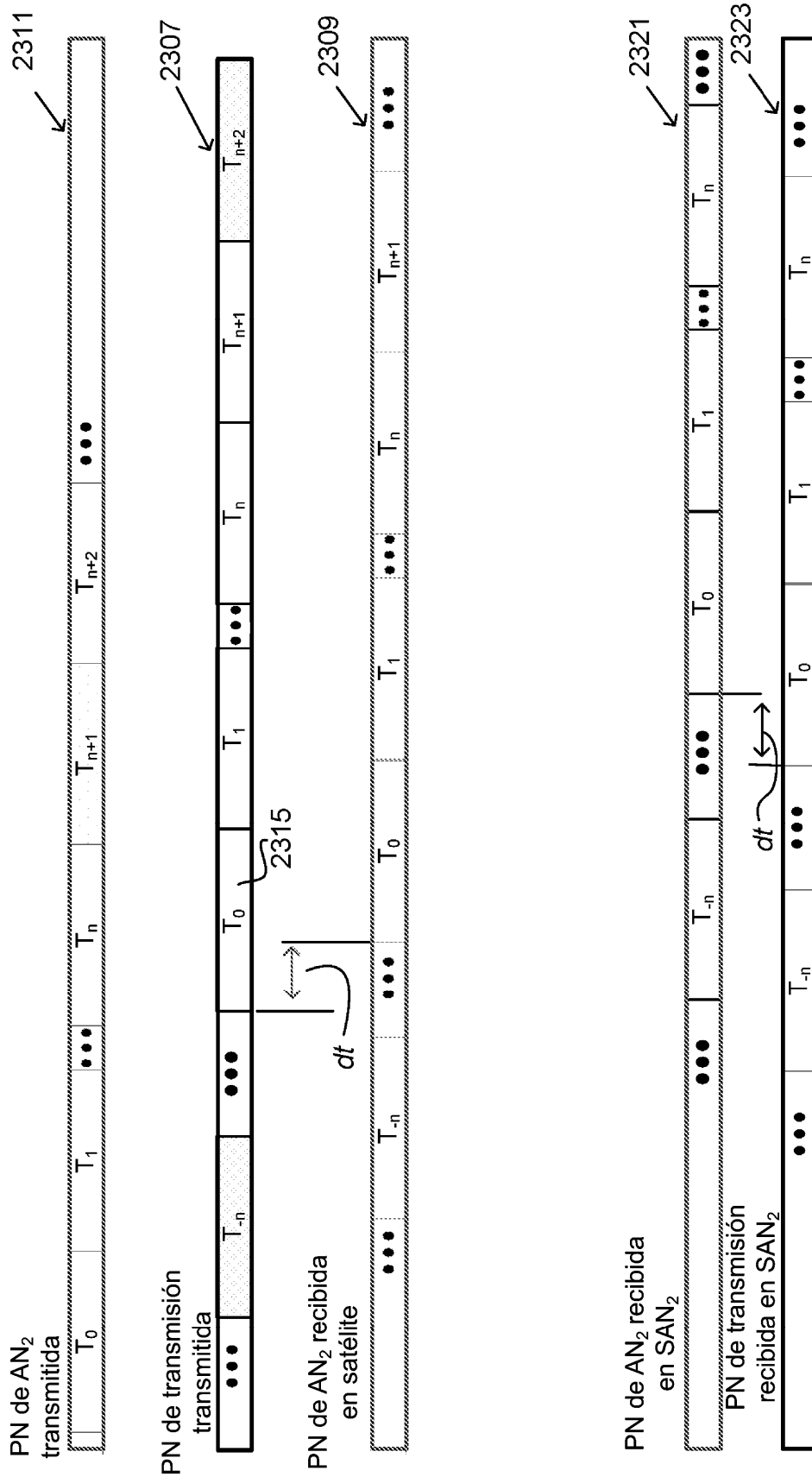


Fig. 37

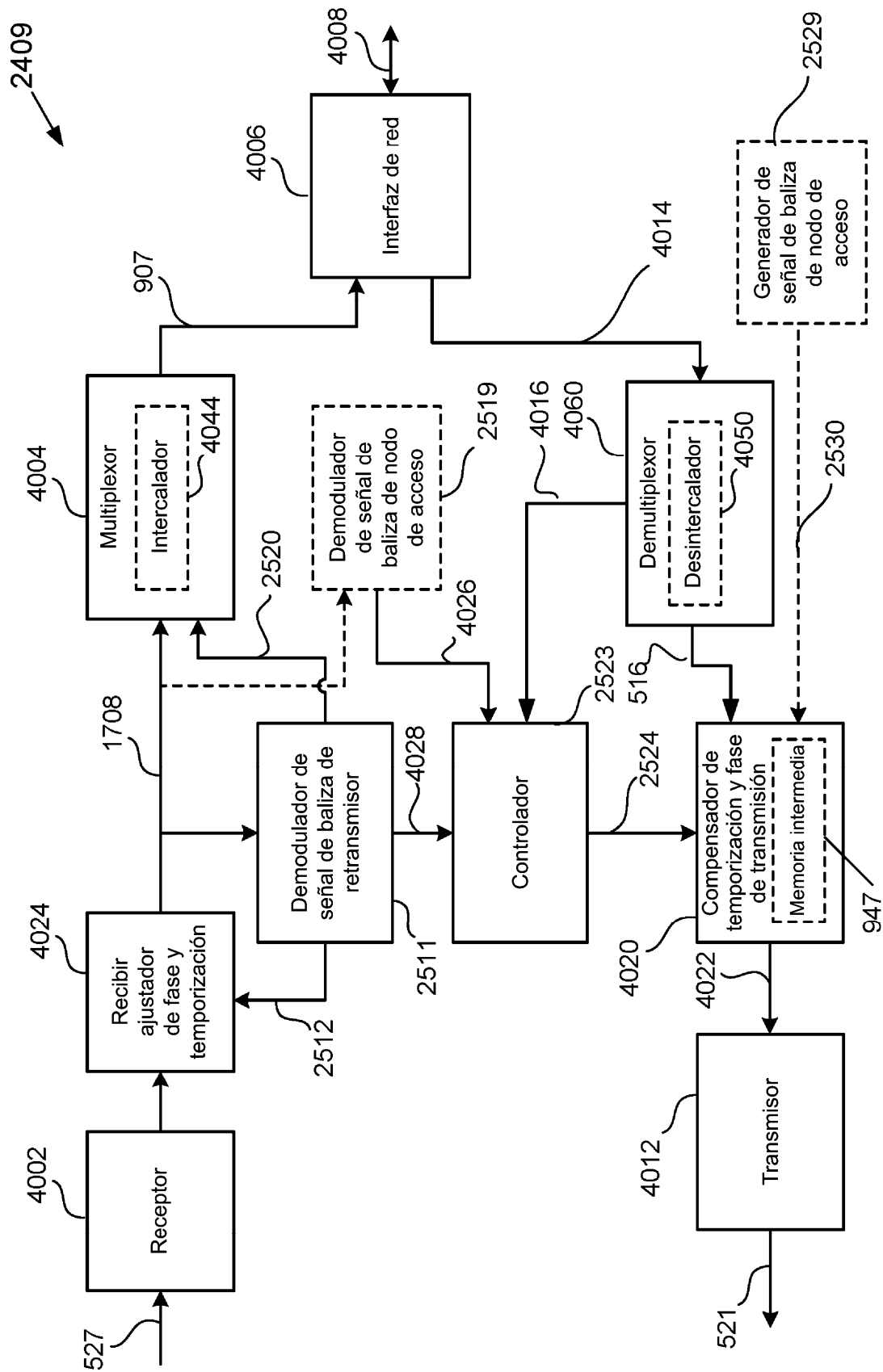


Fig. 38

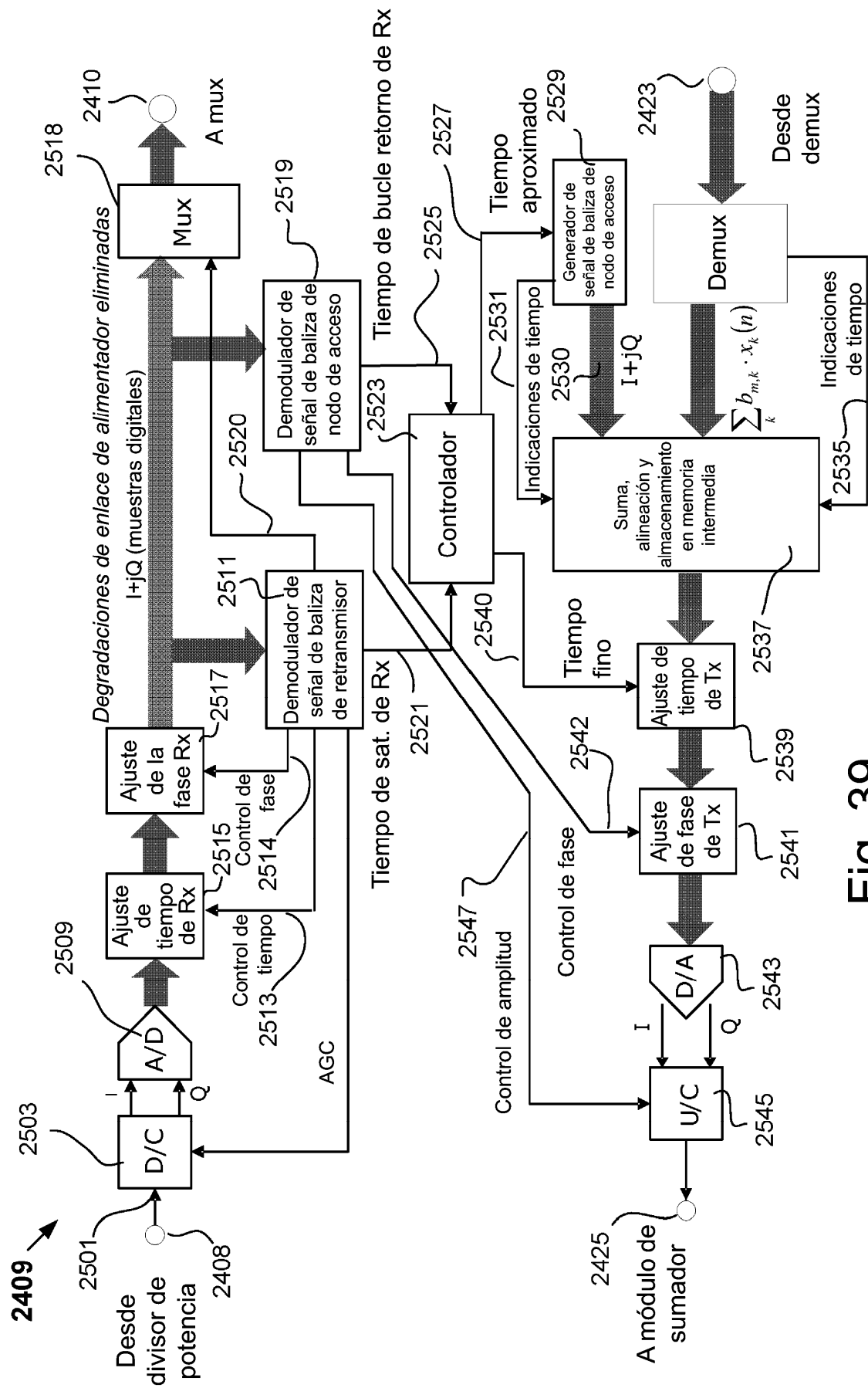


Fig. 39

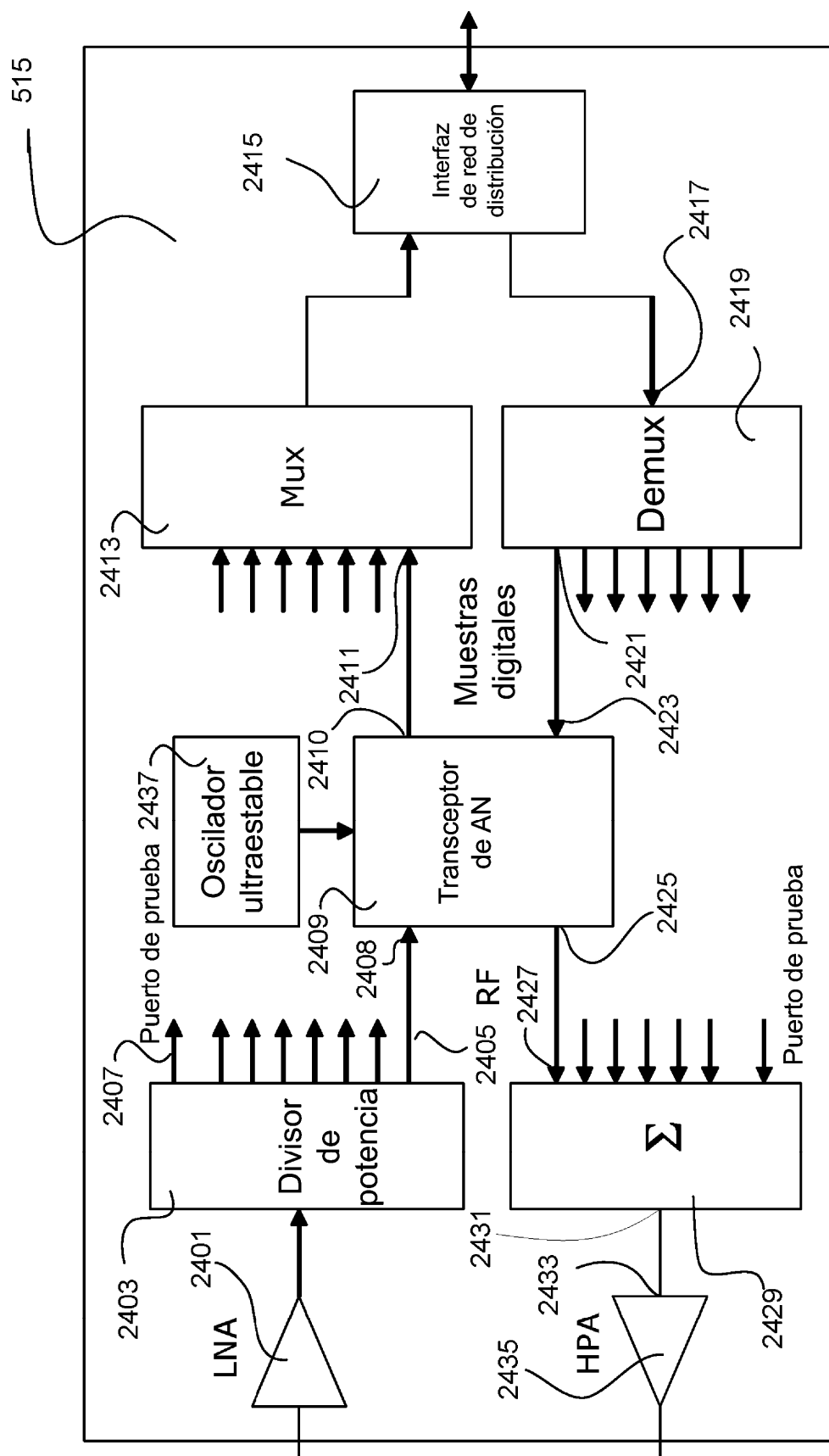


Fig. 40

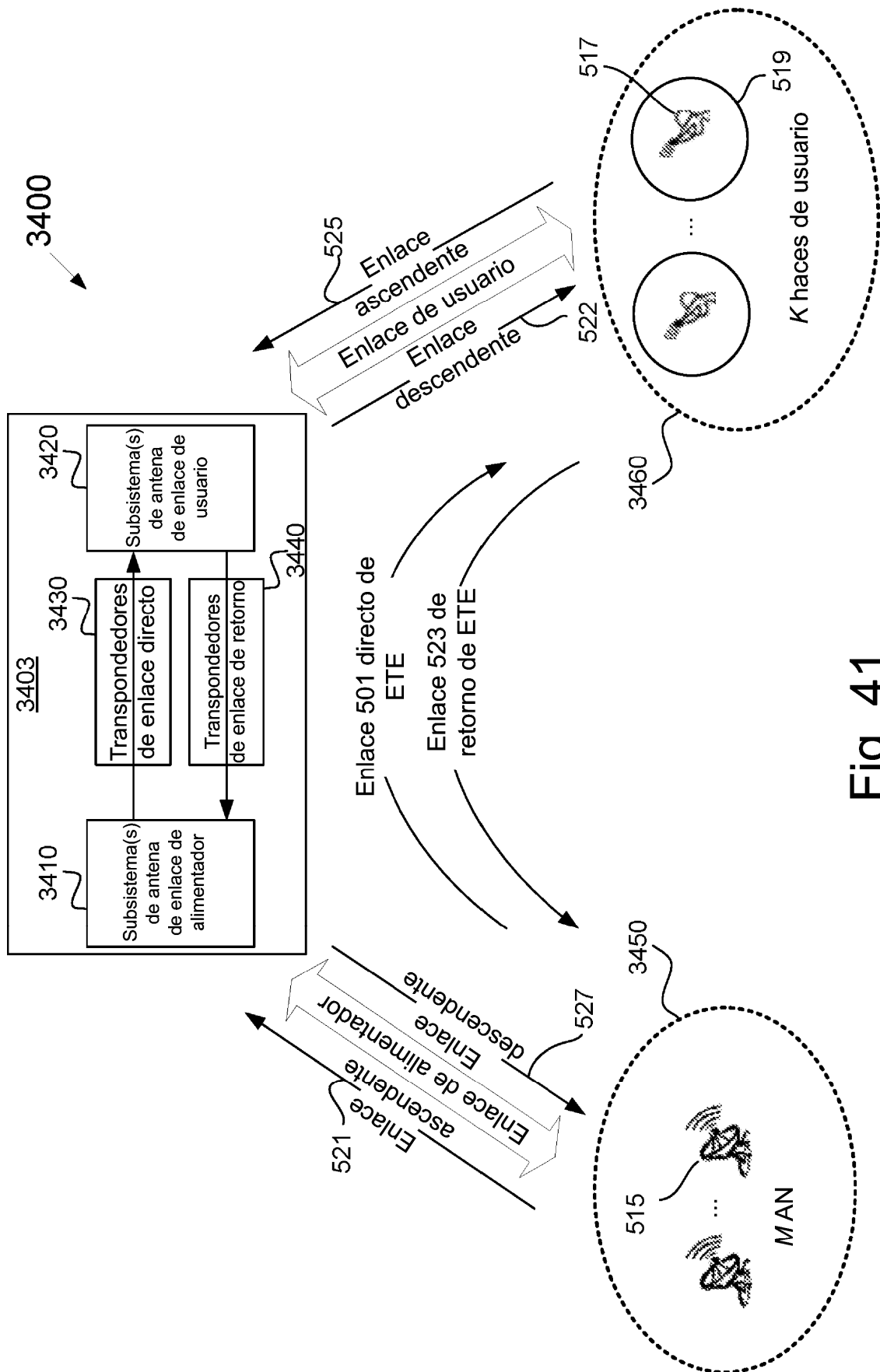
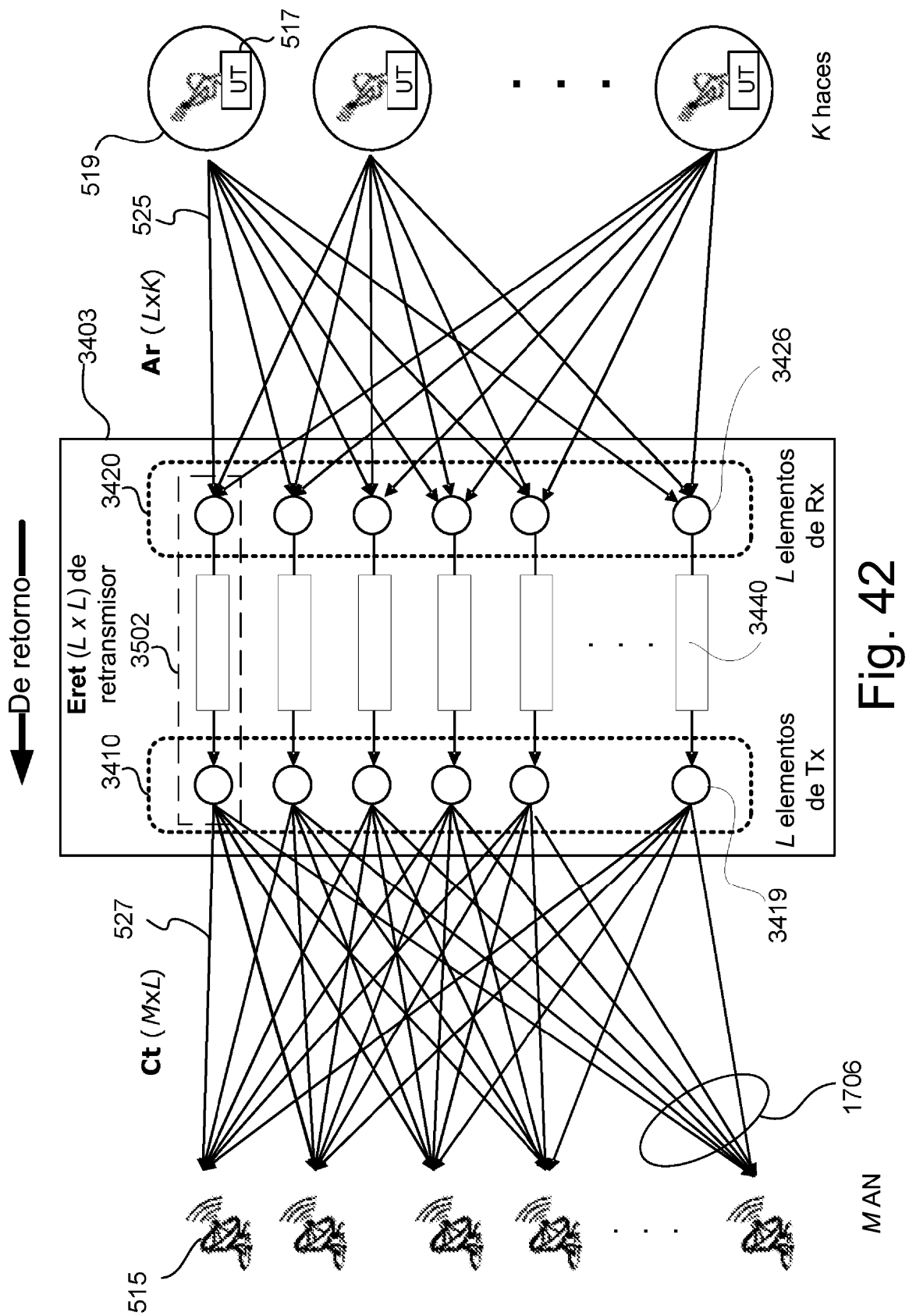


Fig. 41



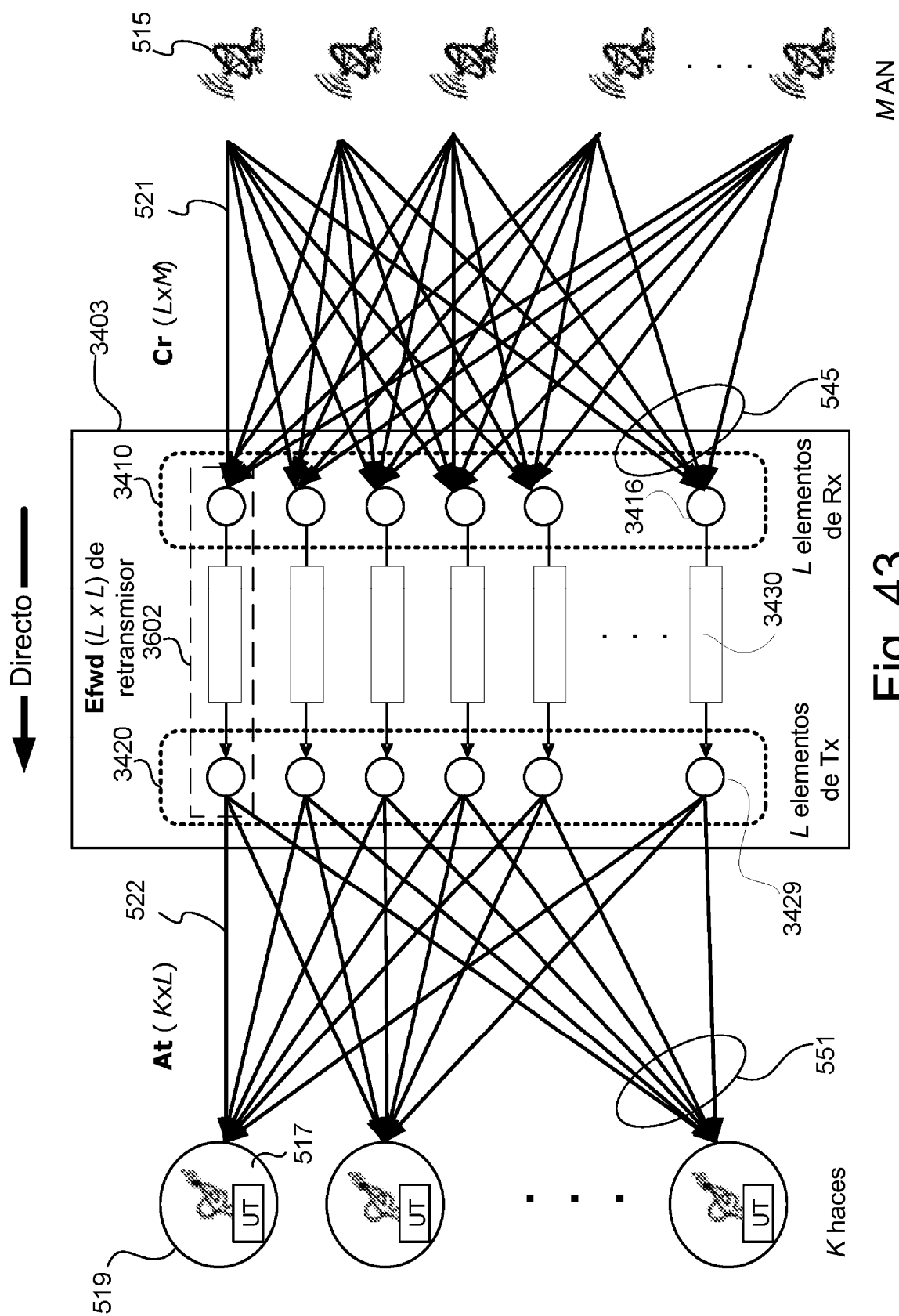


Fig. 43

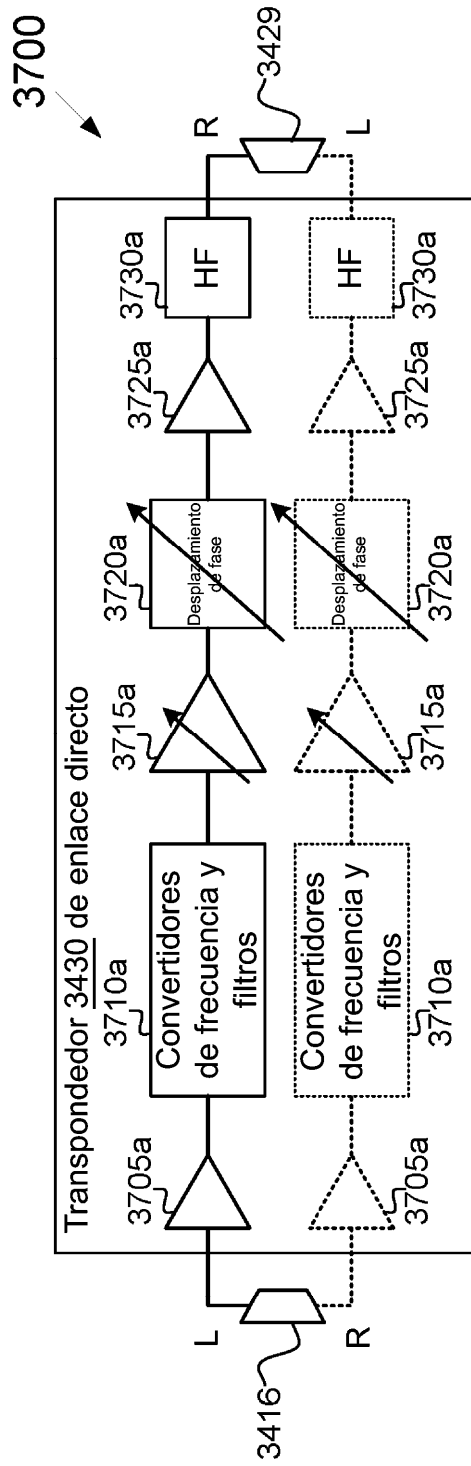


Fig. 44A

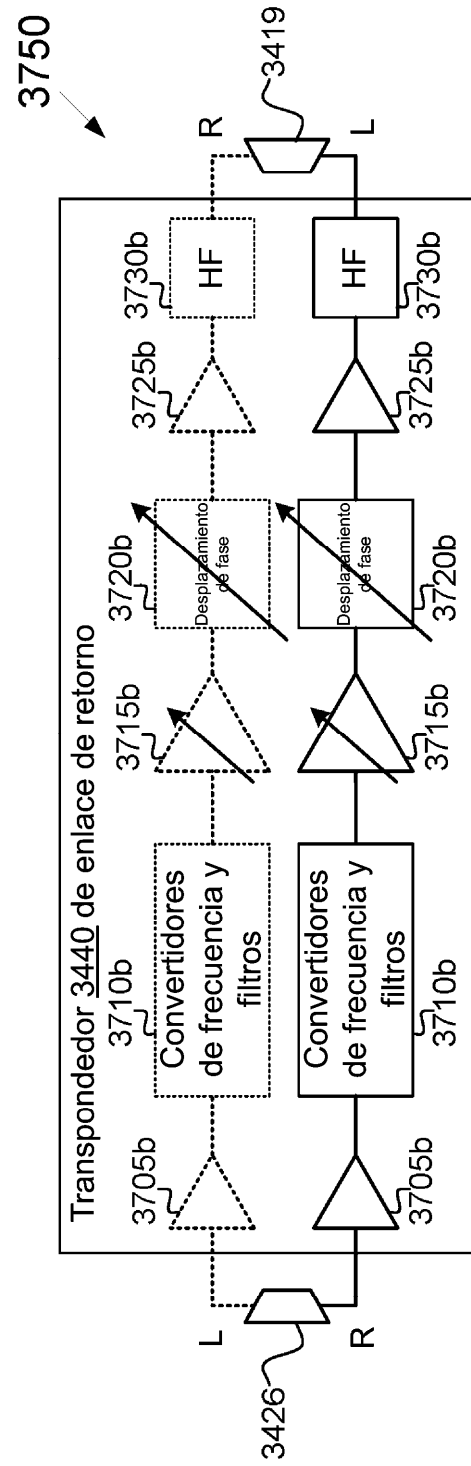


Fig. 44B

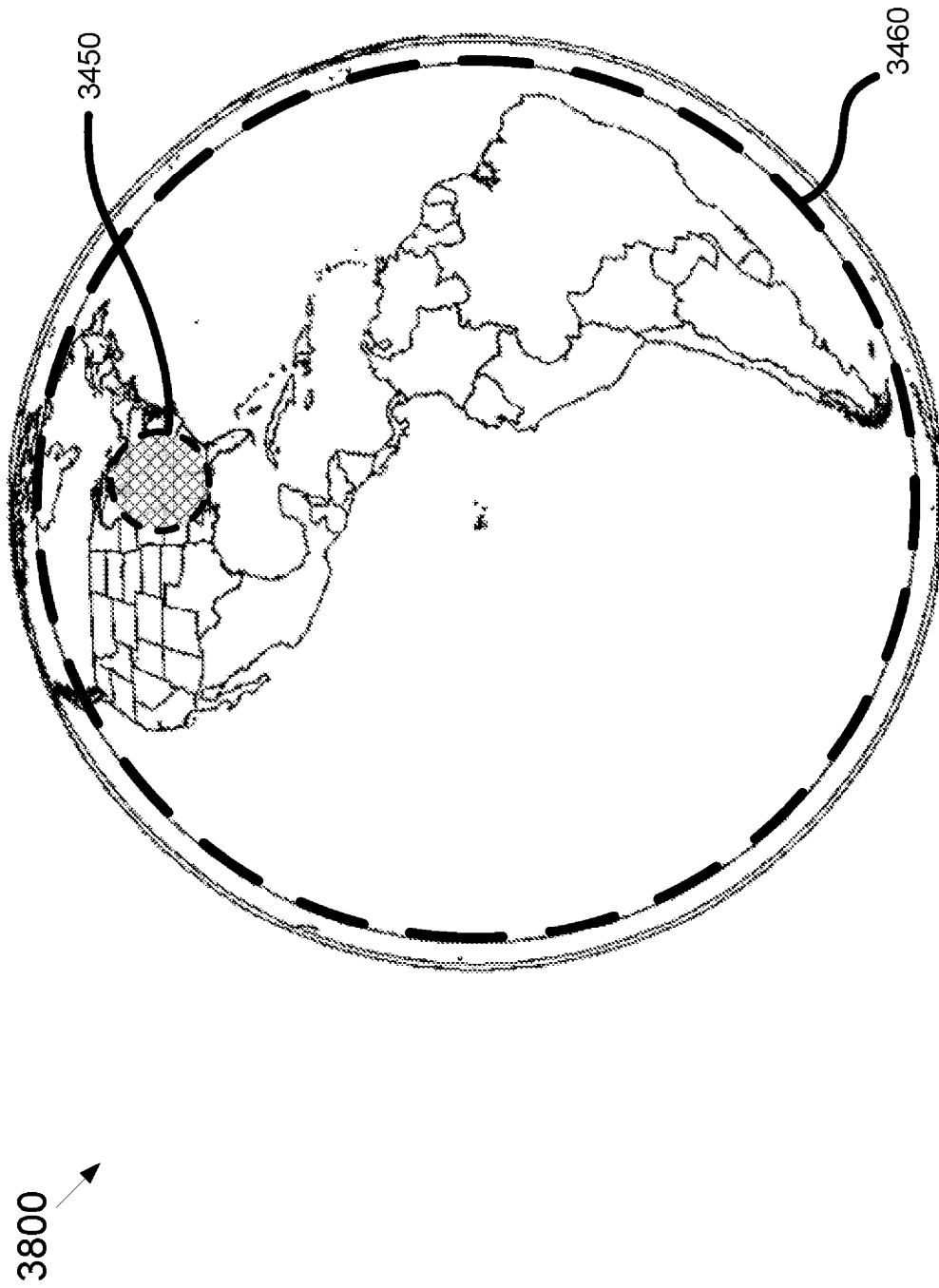


Fig. 45A

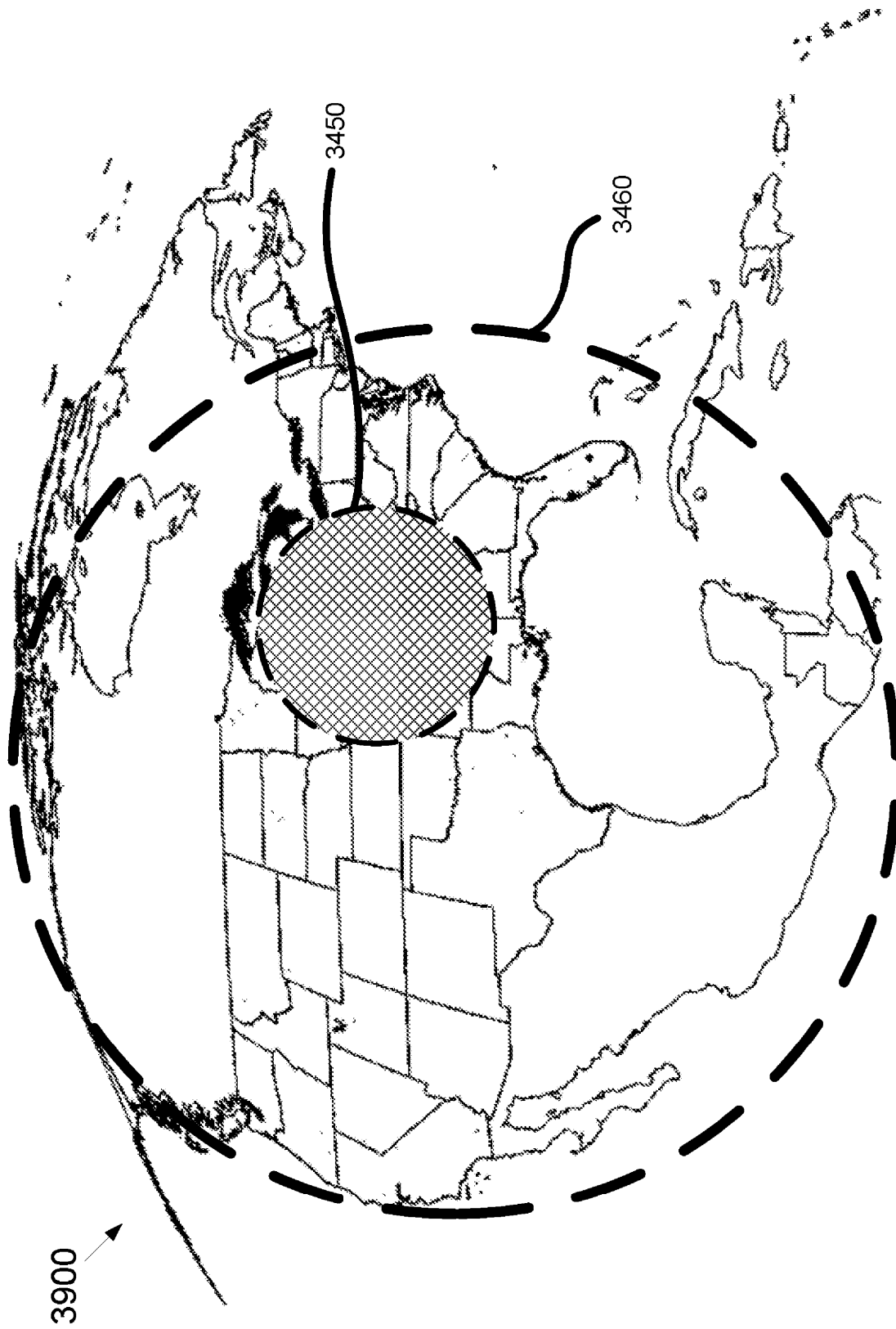


Fig. 45B

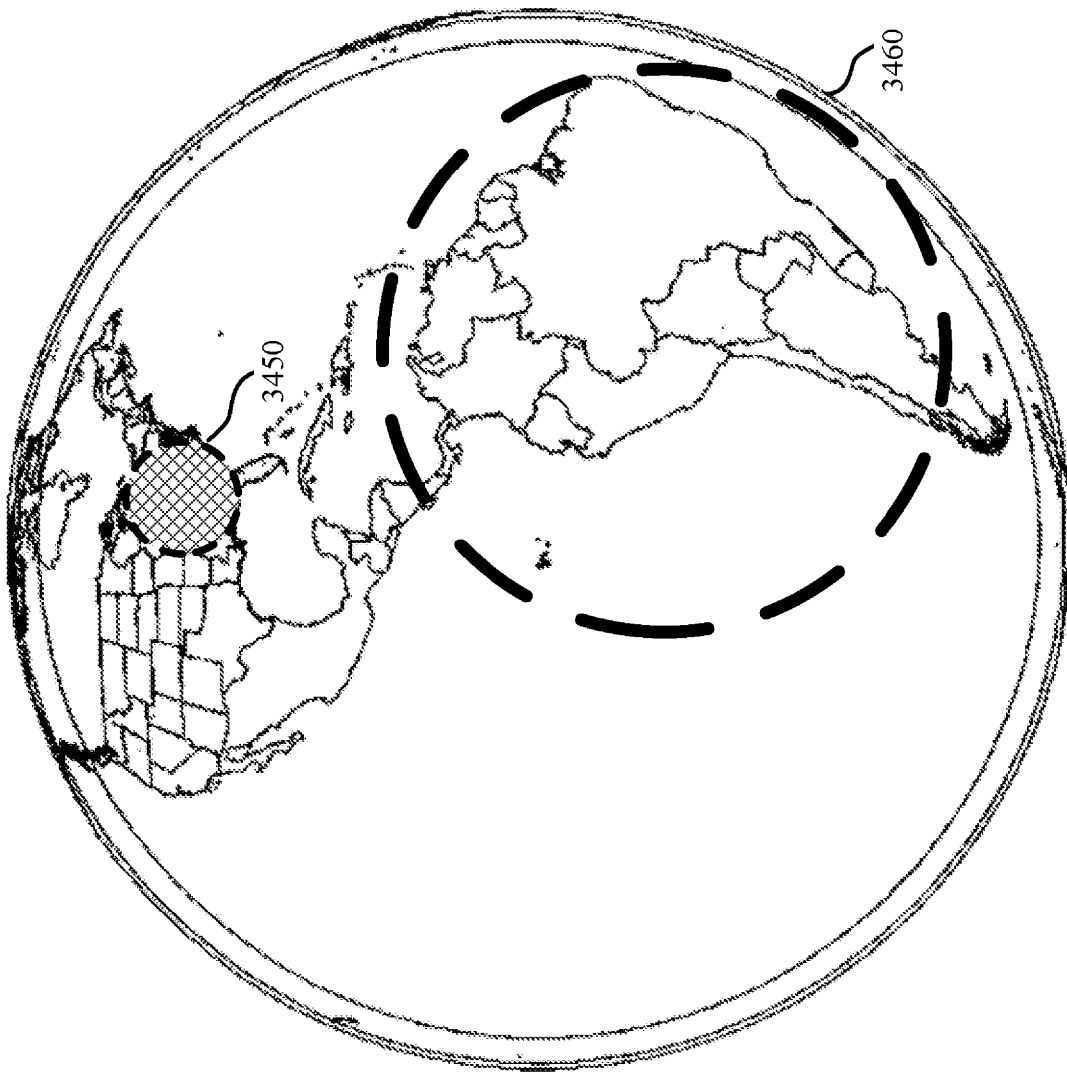


Fig. 45C

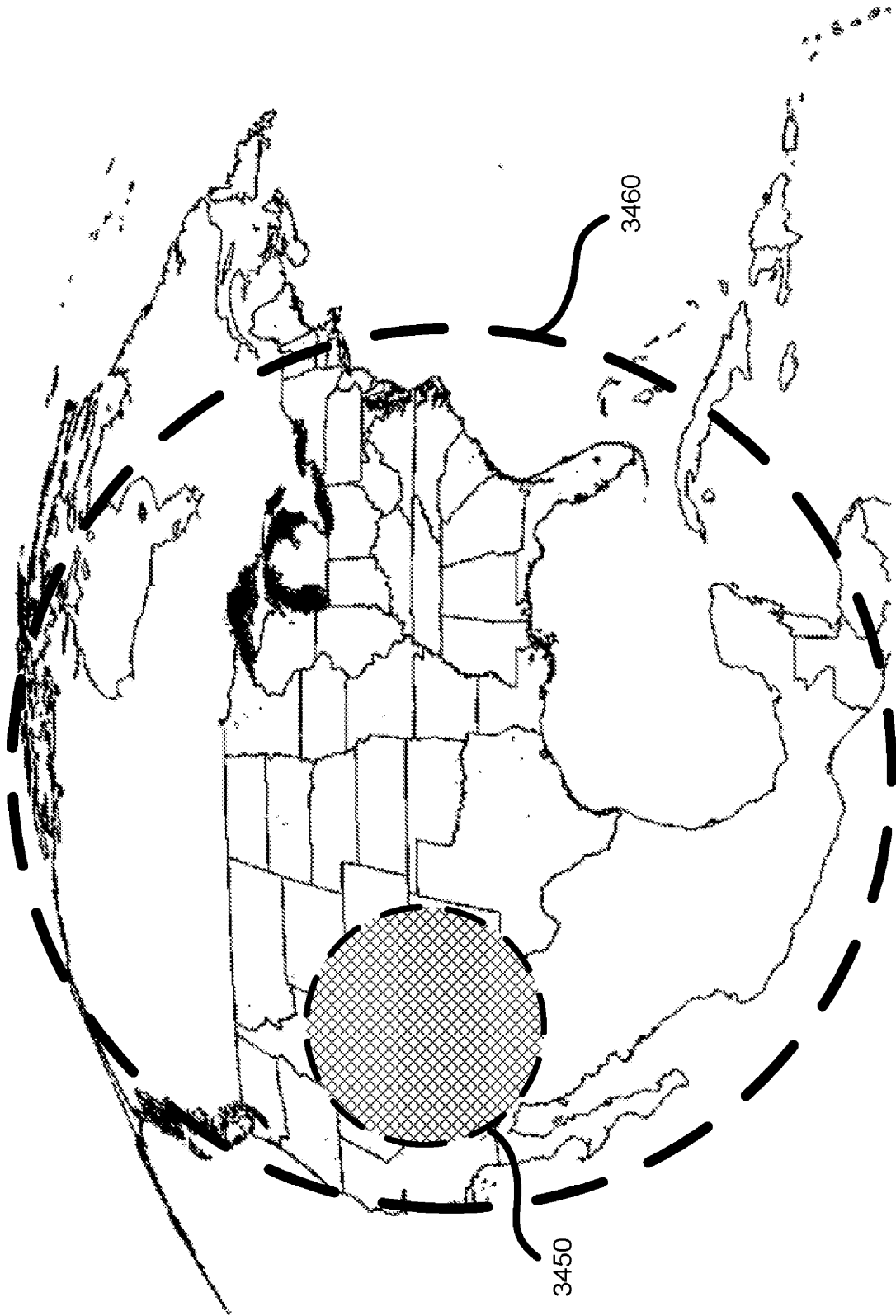


Fig. 45D

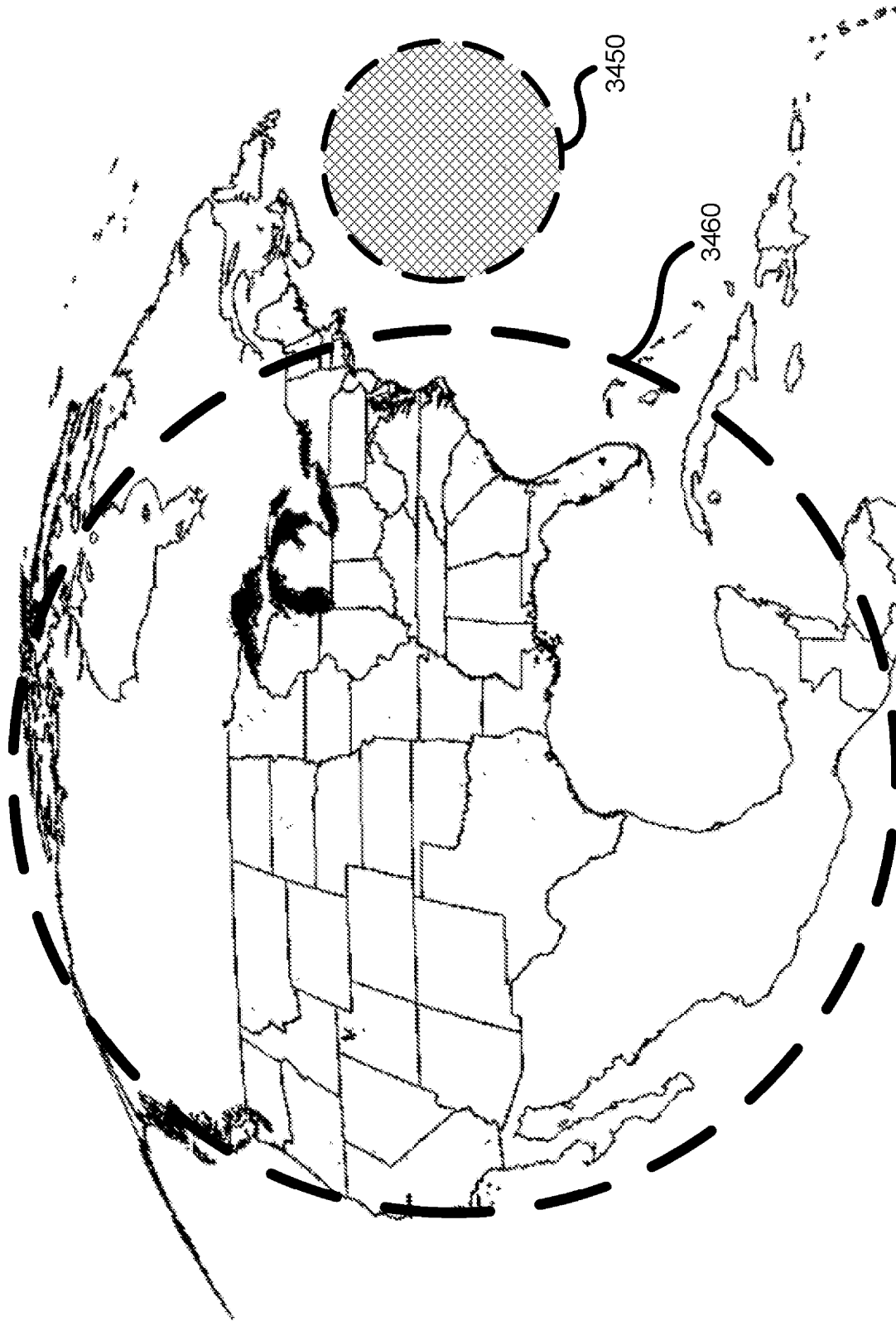


Fig. 45E

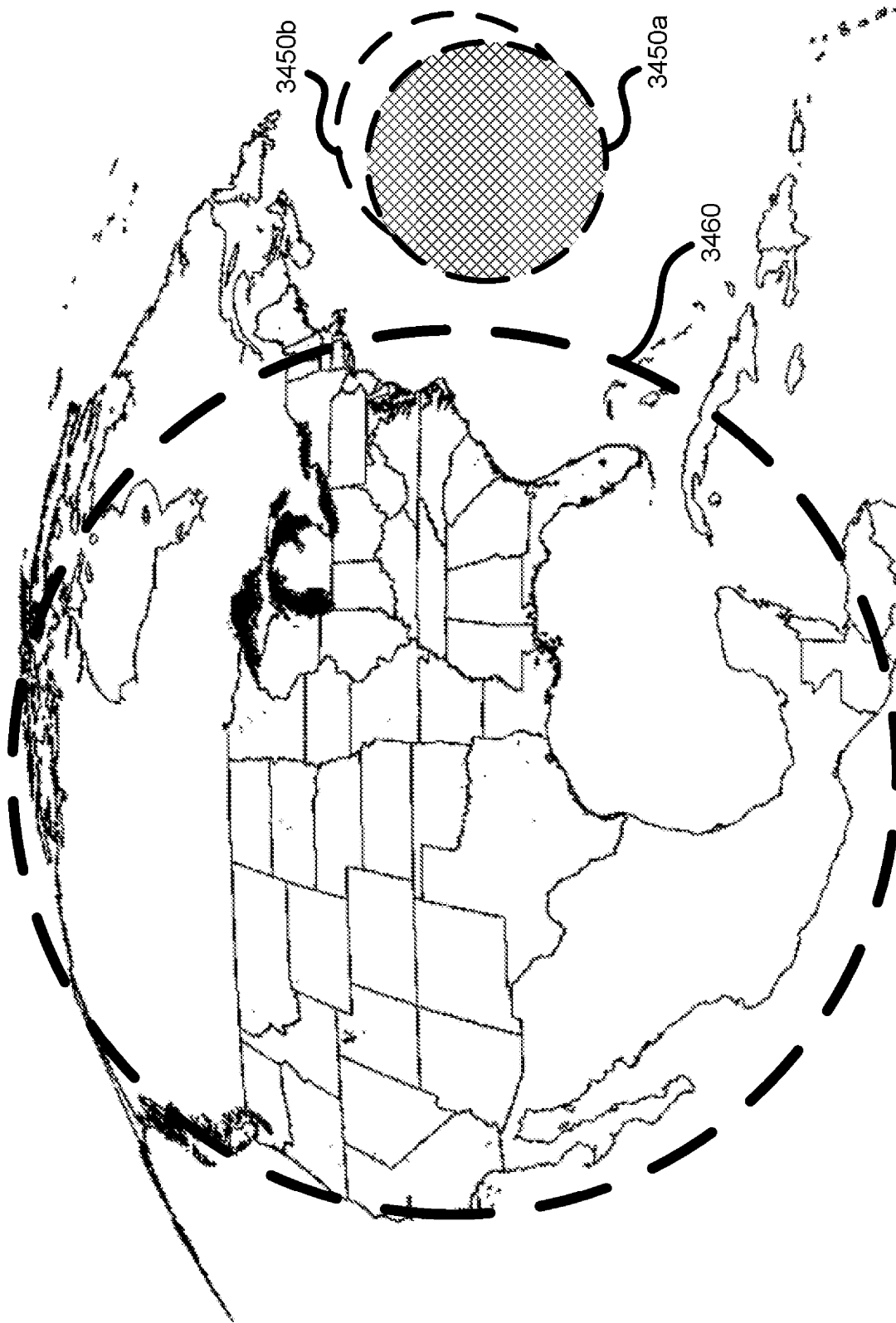


Fig. 45F

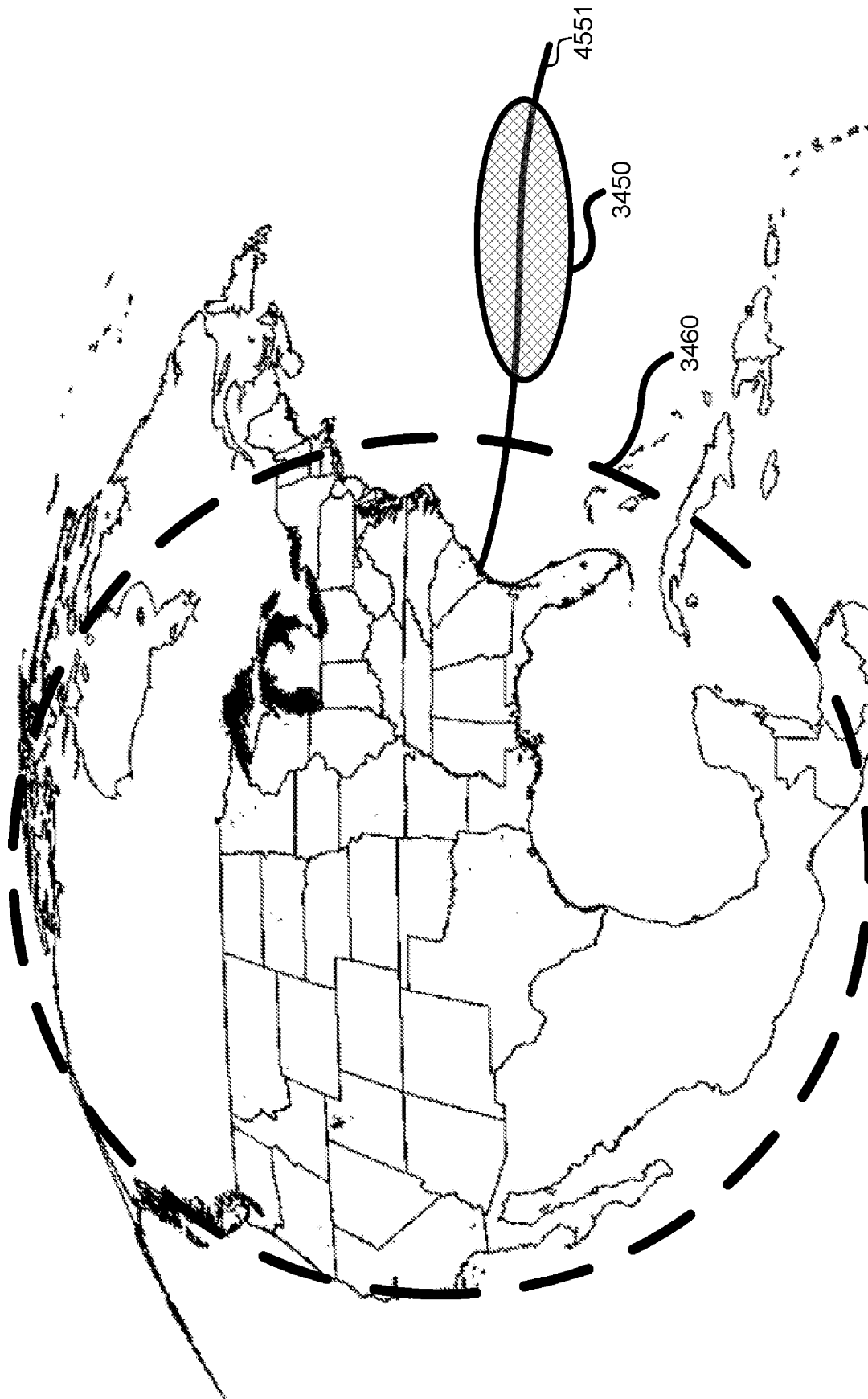


Fig. 45G

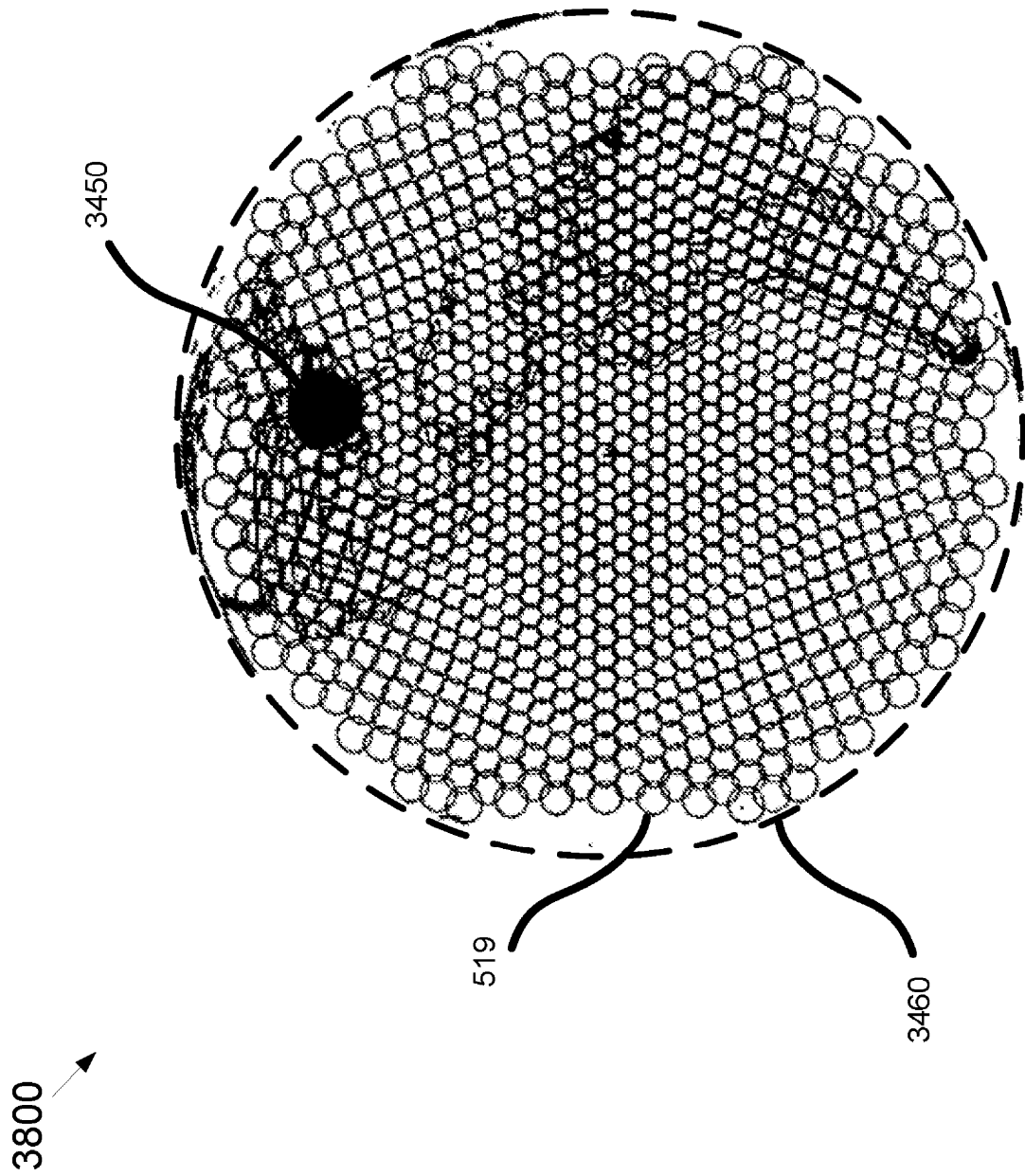


Fig. 46A

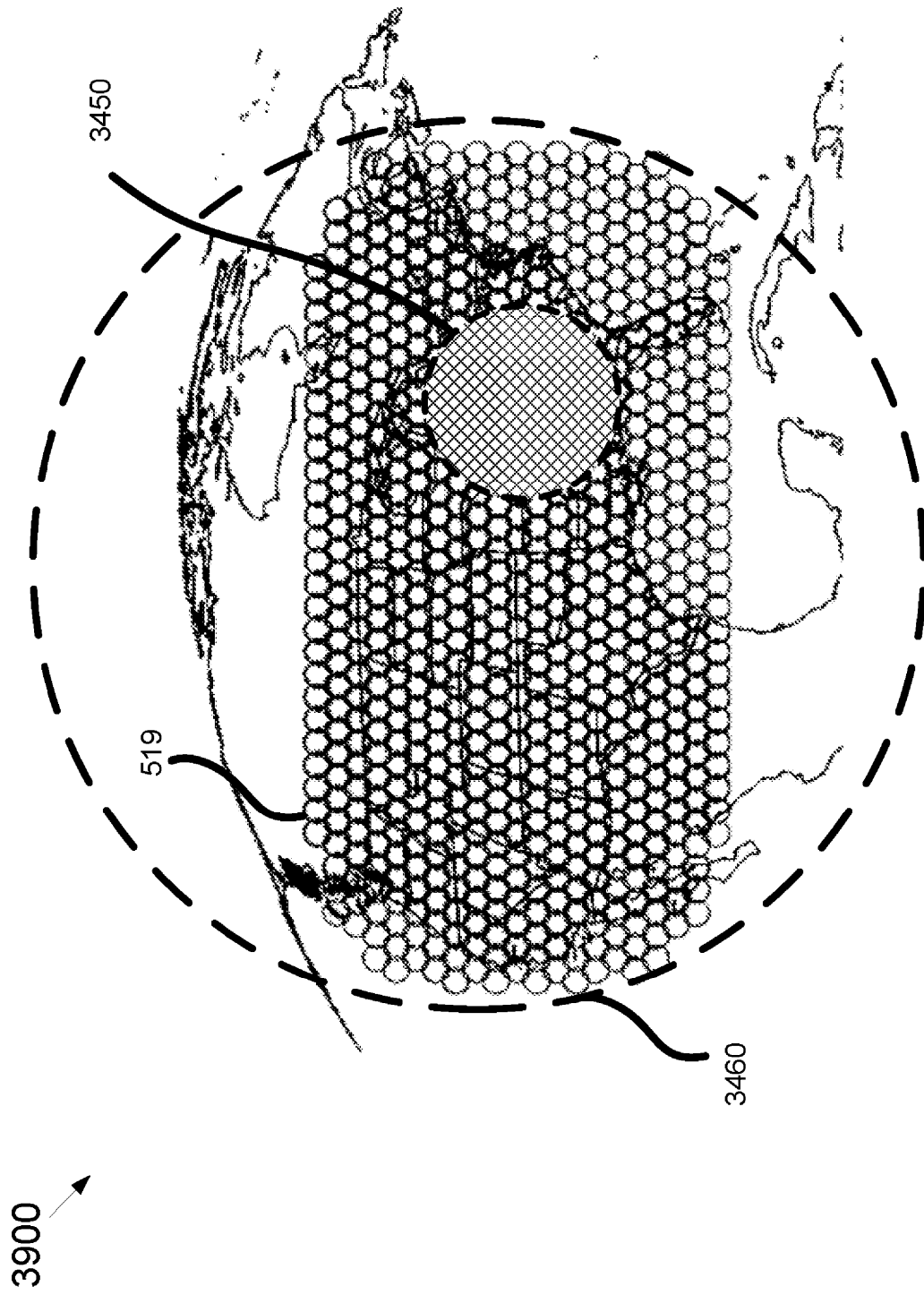


Fig. 46B

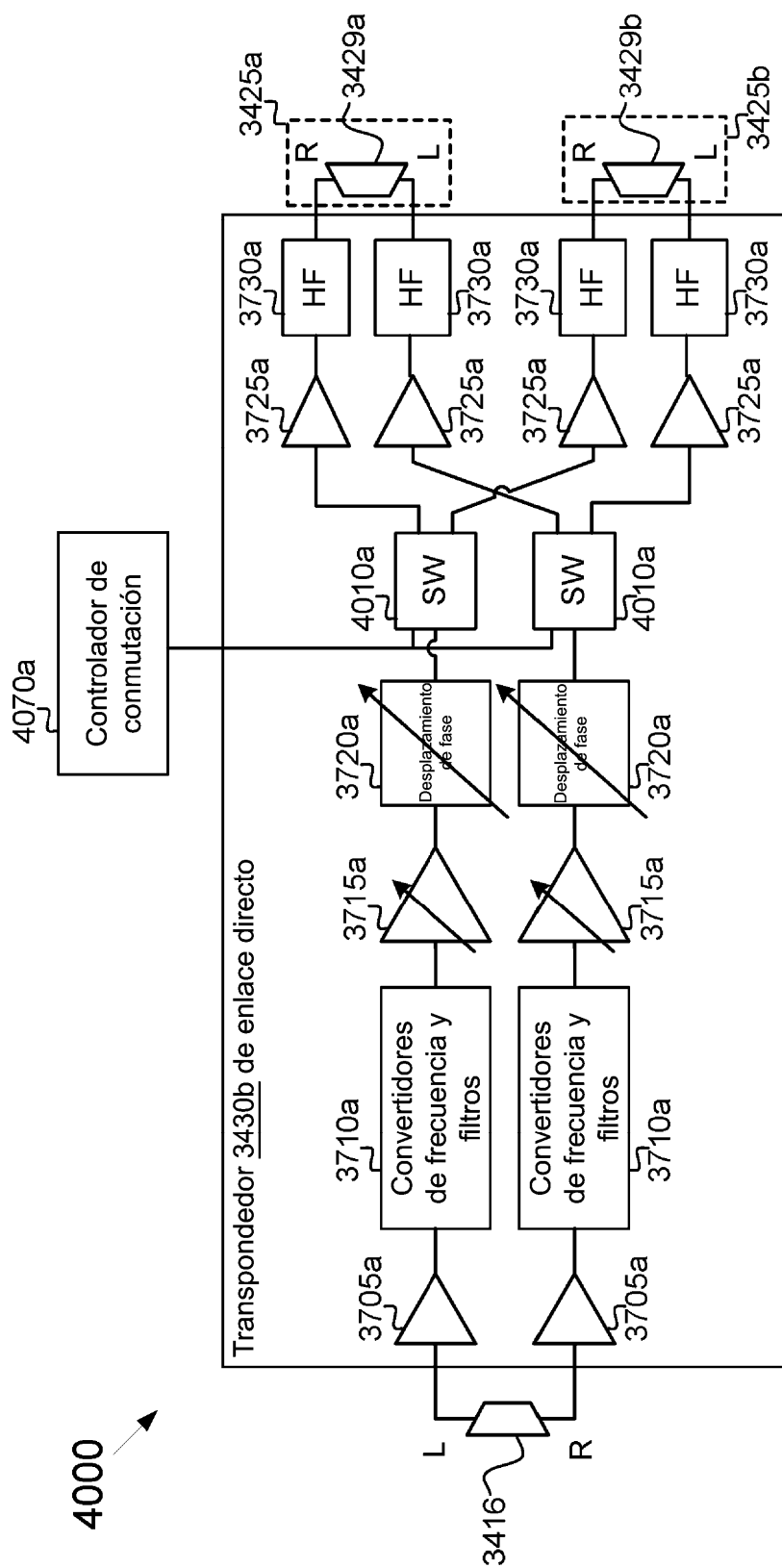


Fig. 47A

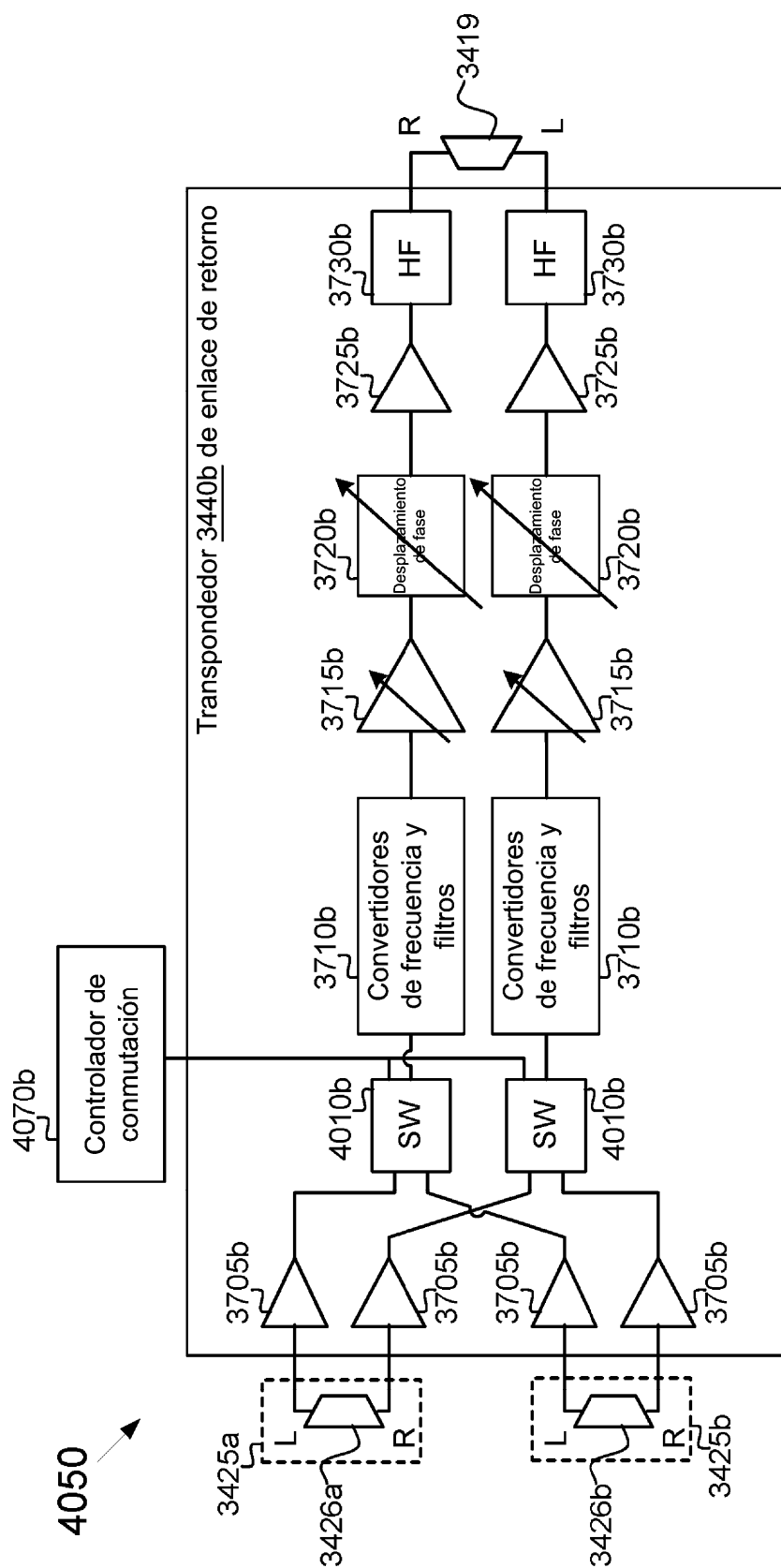


Fig. 47B

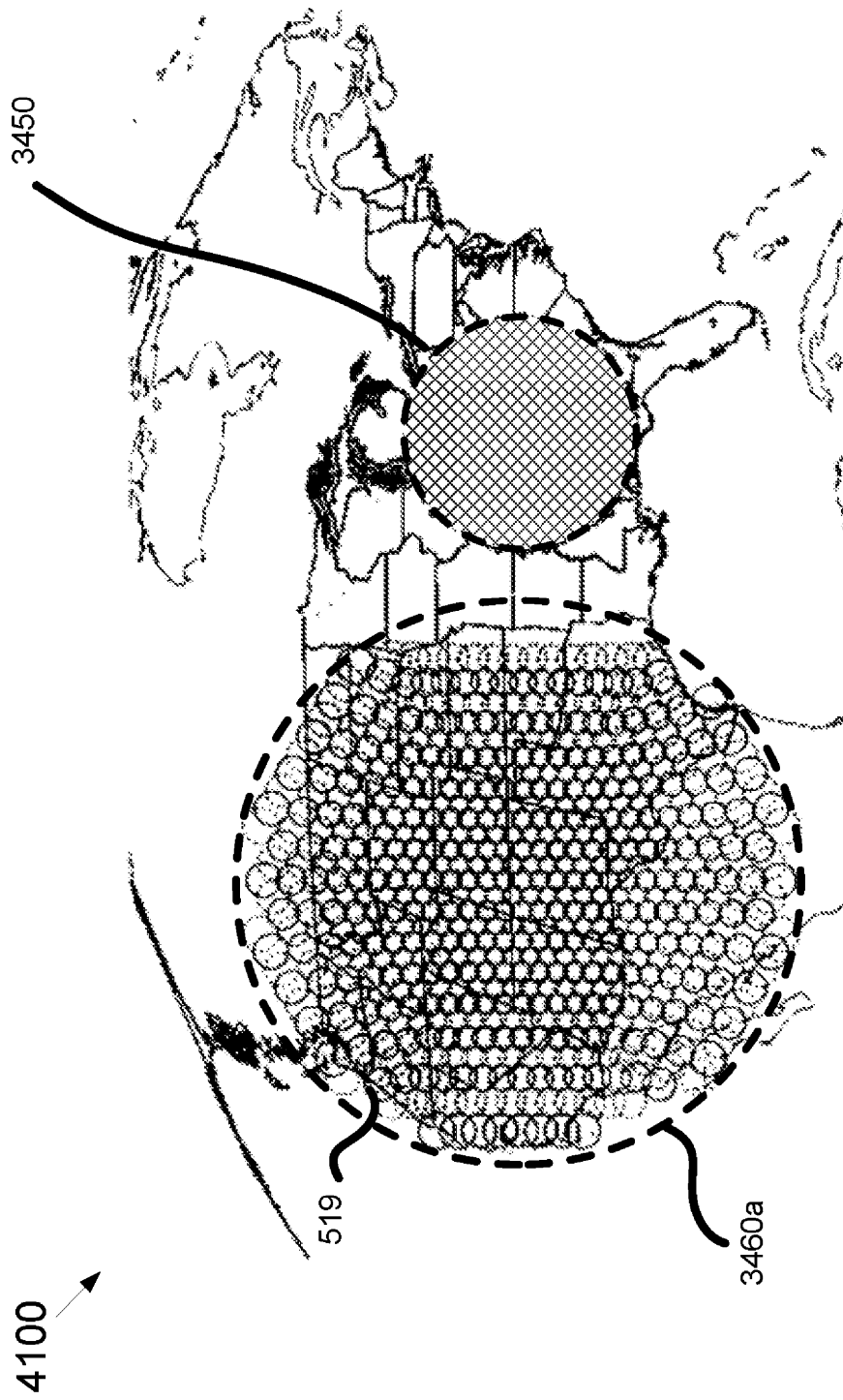


Fig. 48A

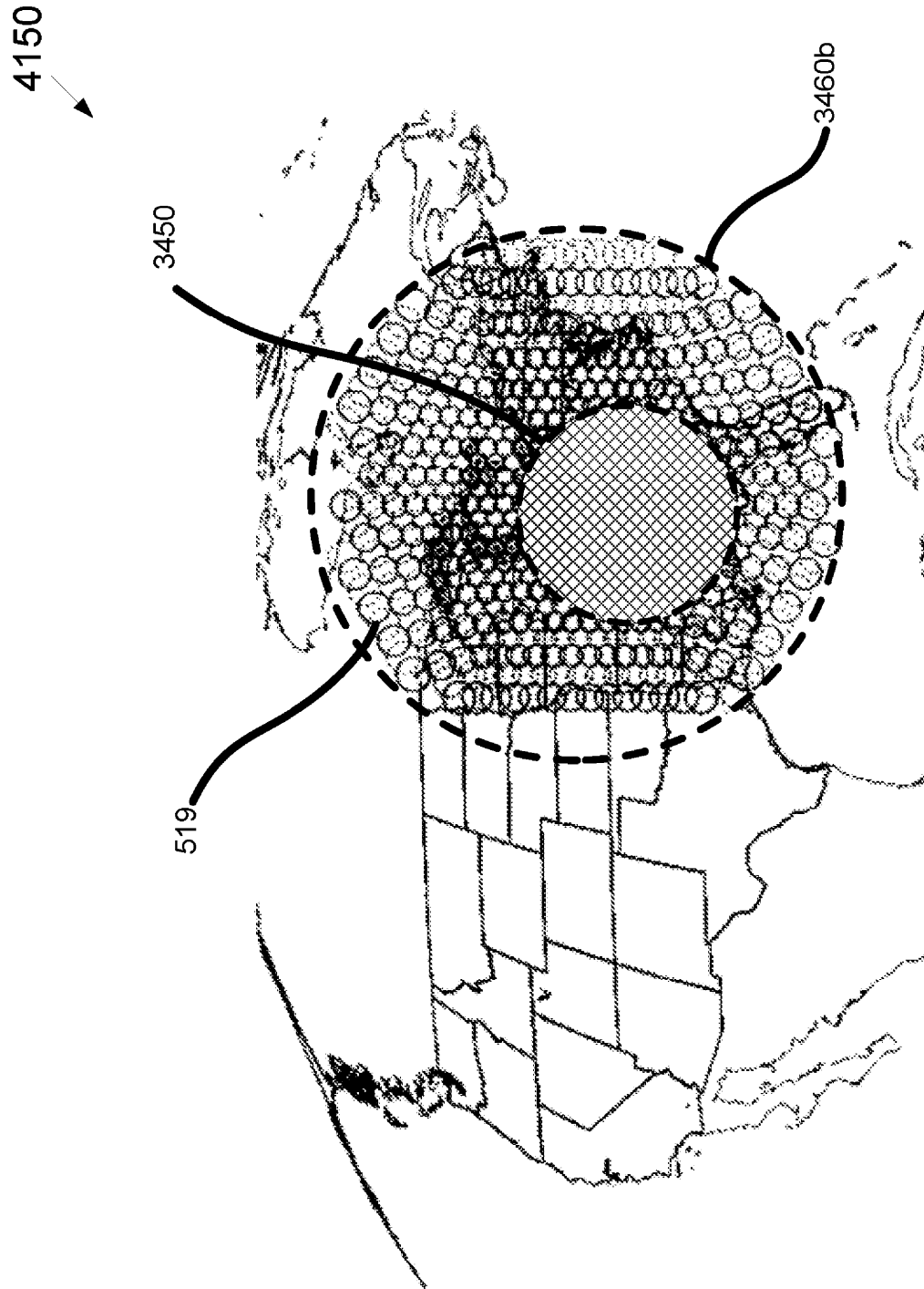


Fig. 48B

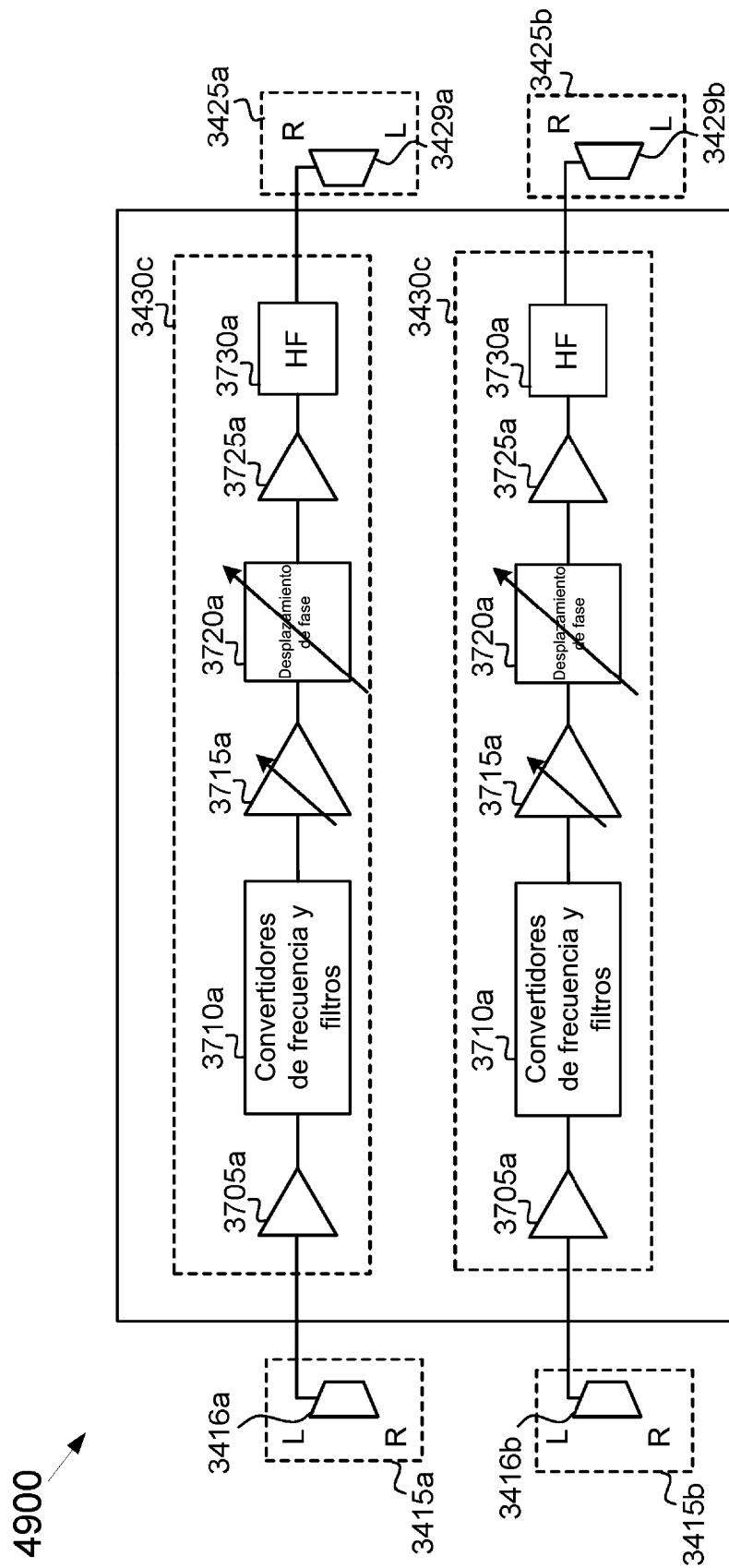


Fig. 49A

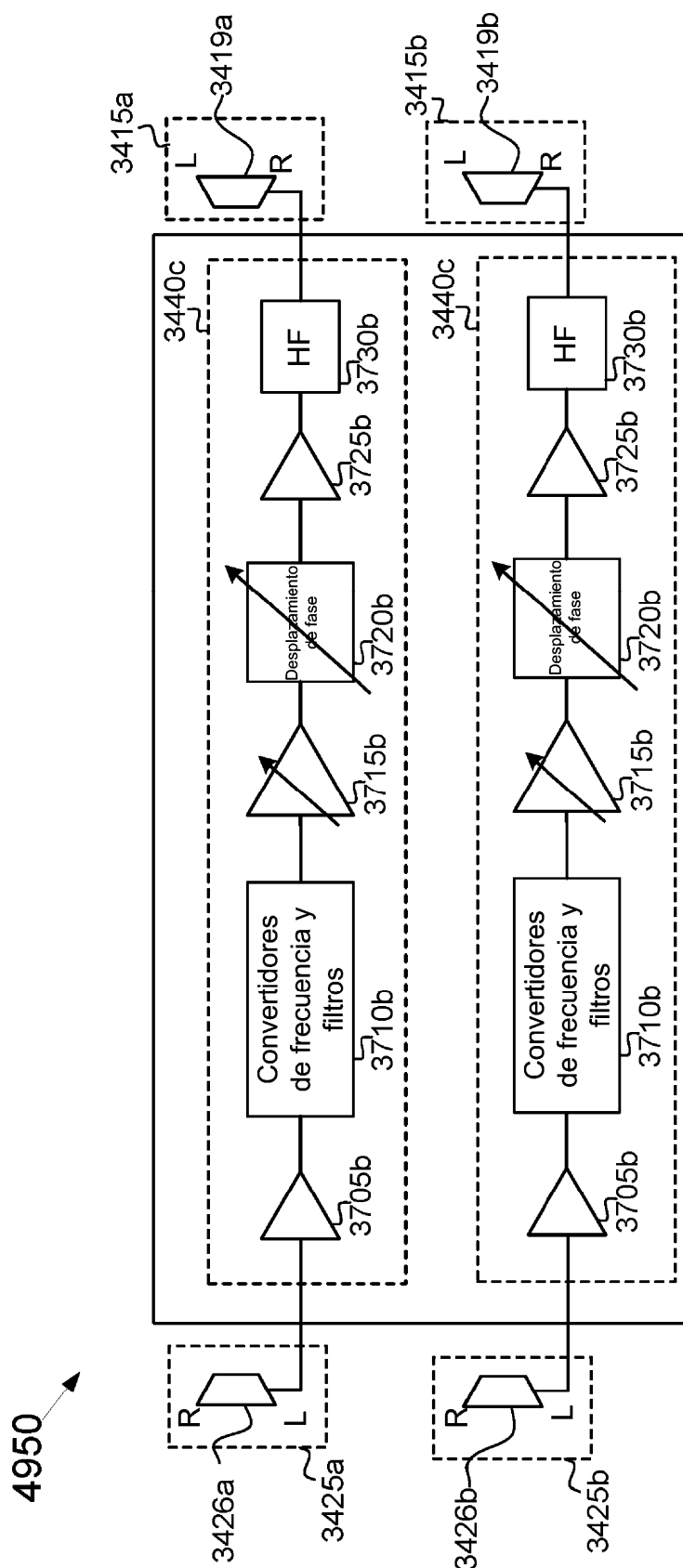


Fig. 49B

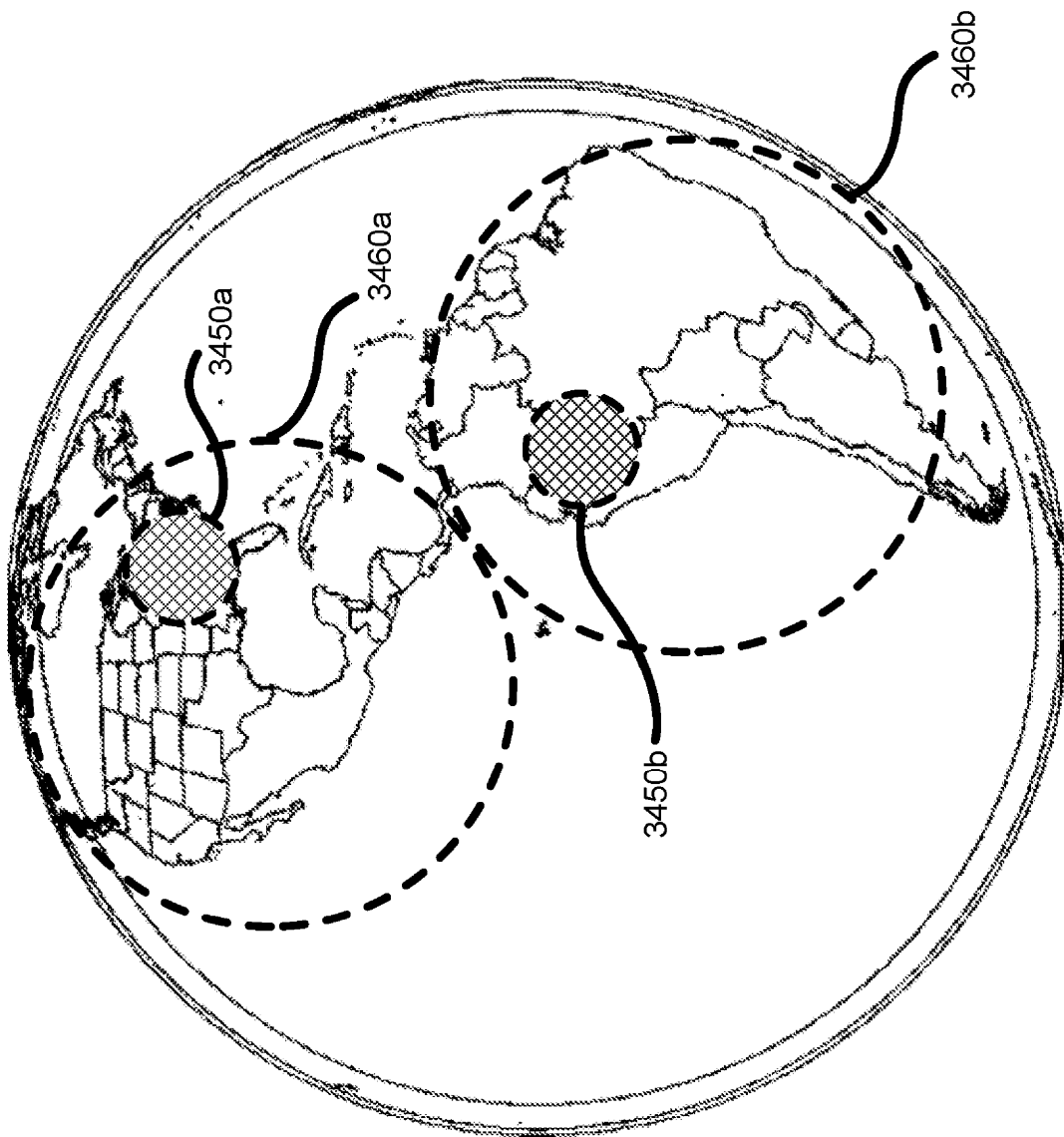


Fig. 50A

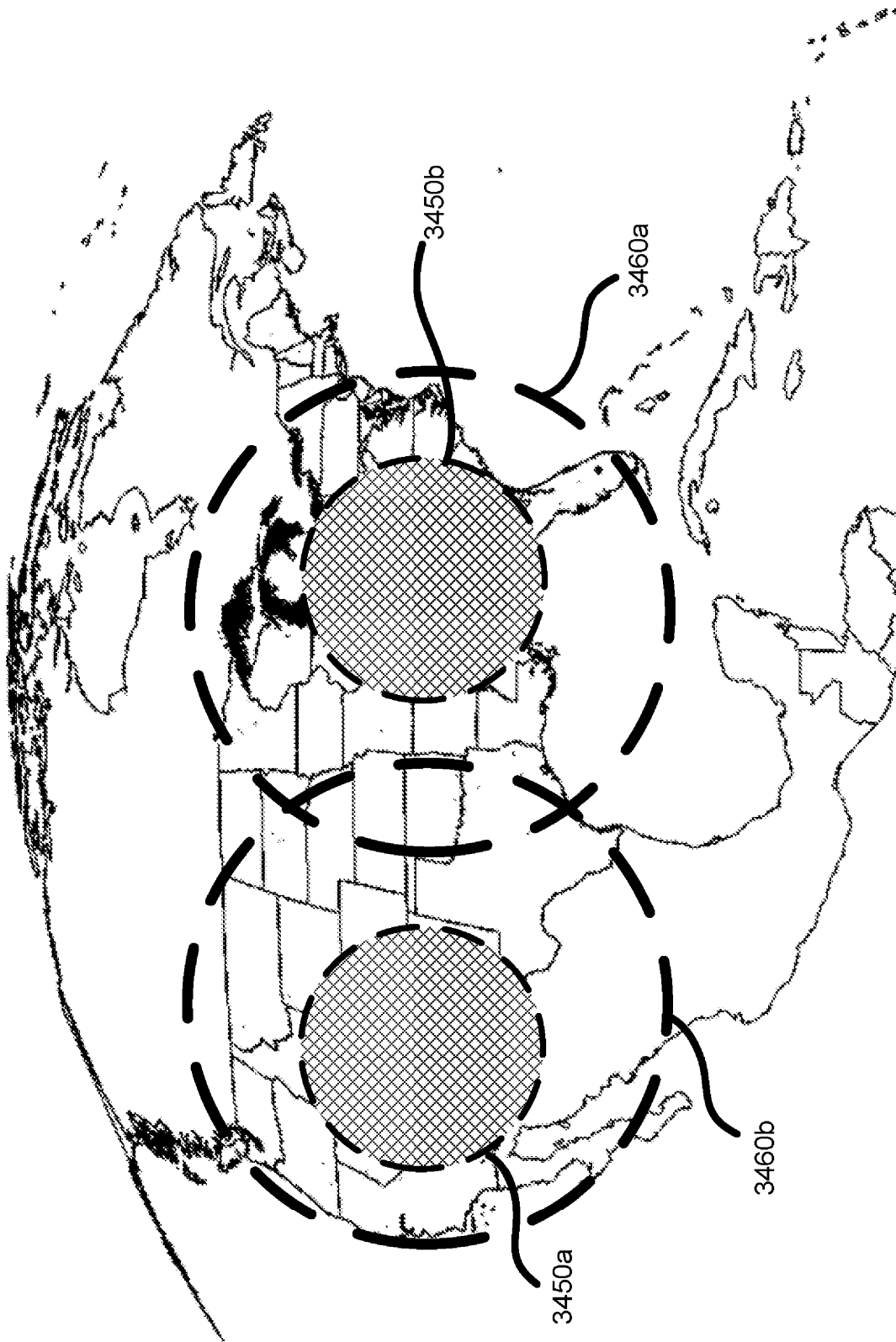


Fig. 50B

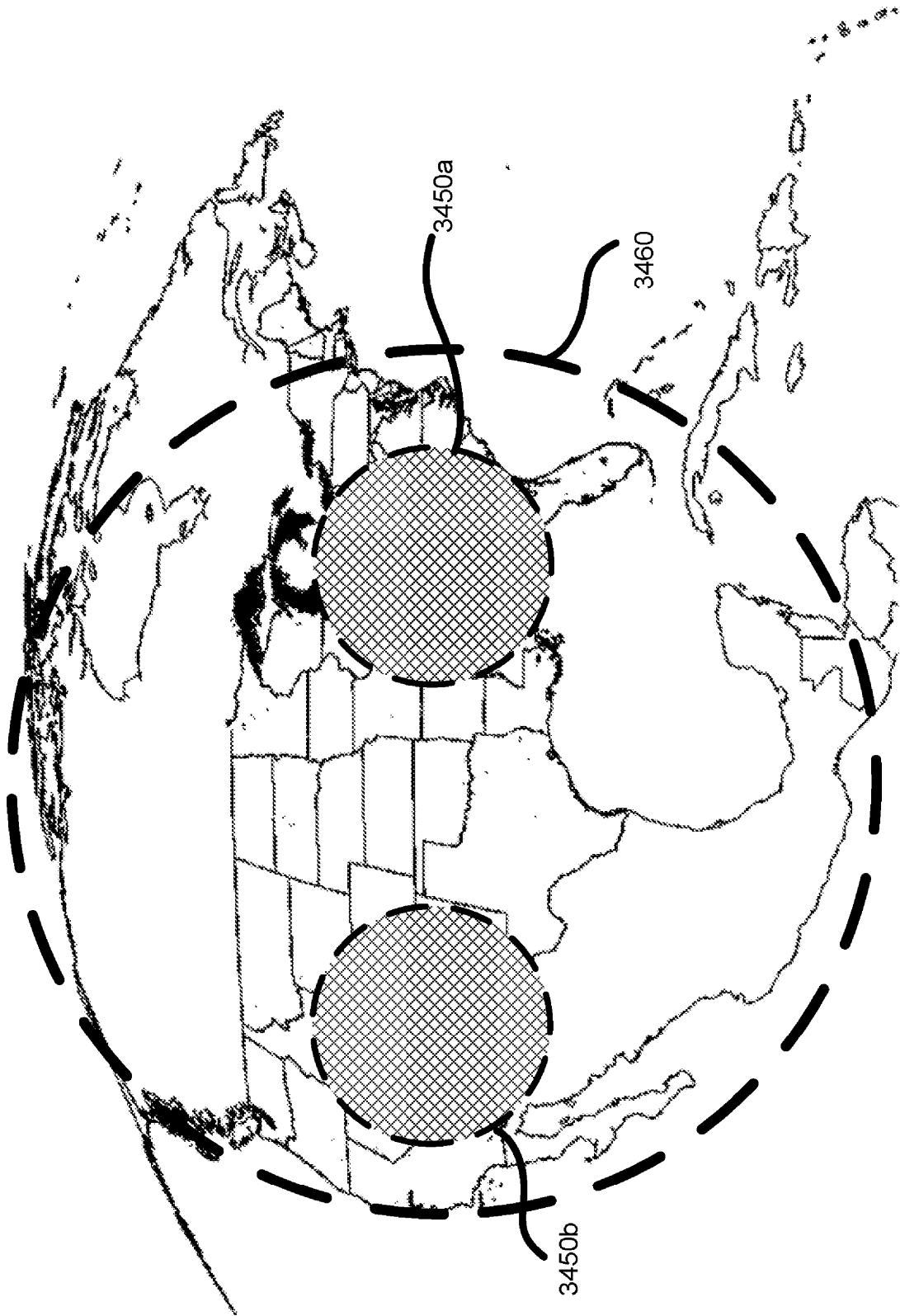


Fig. 50C

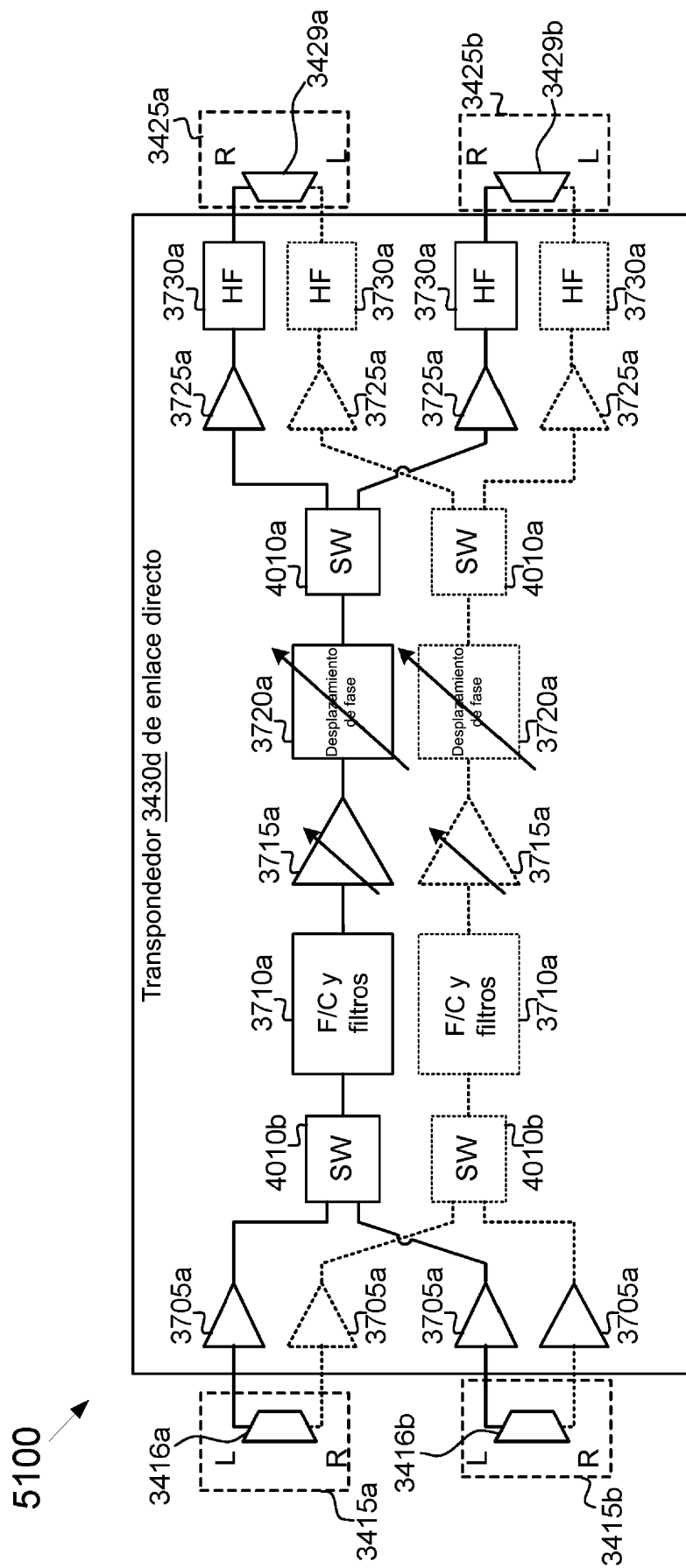
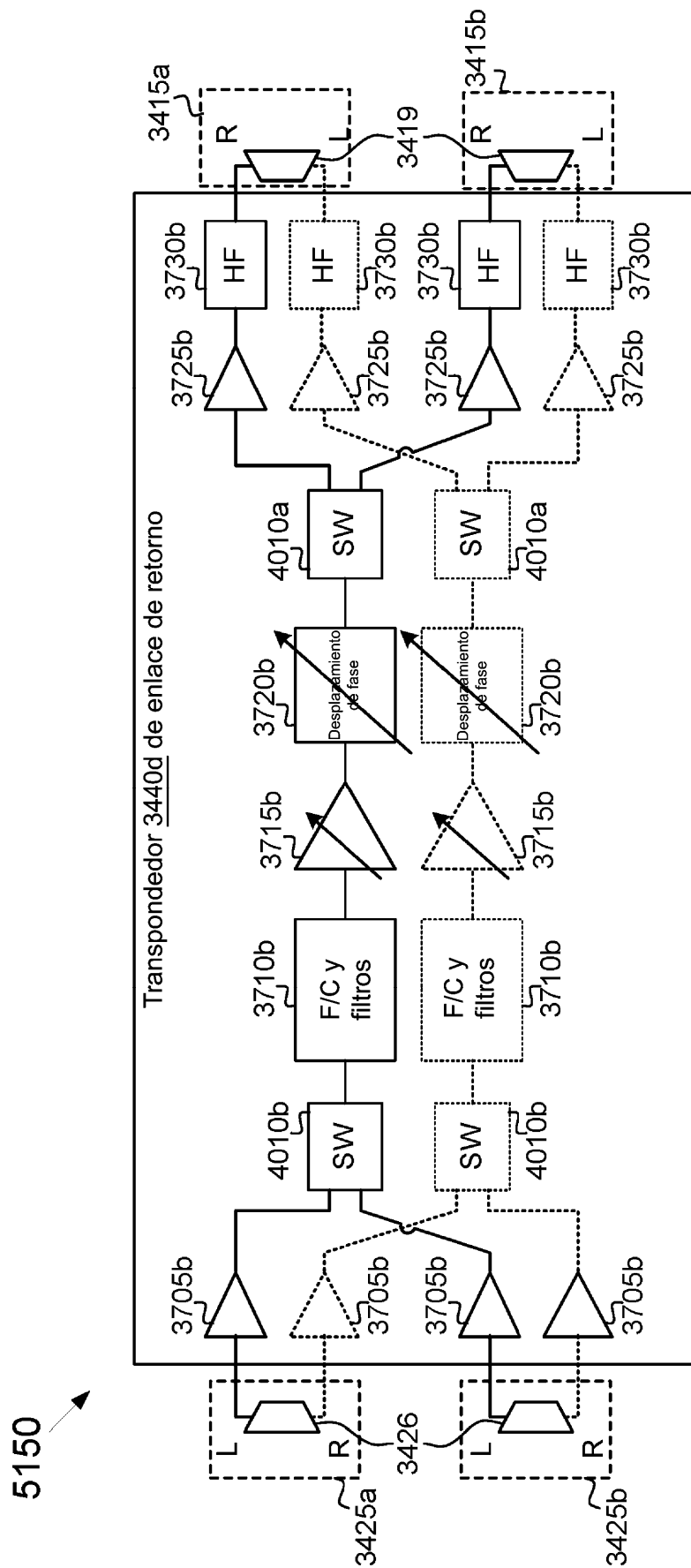


Fig. 51A



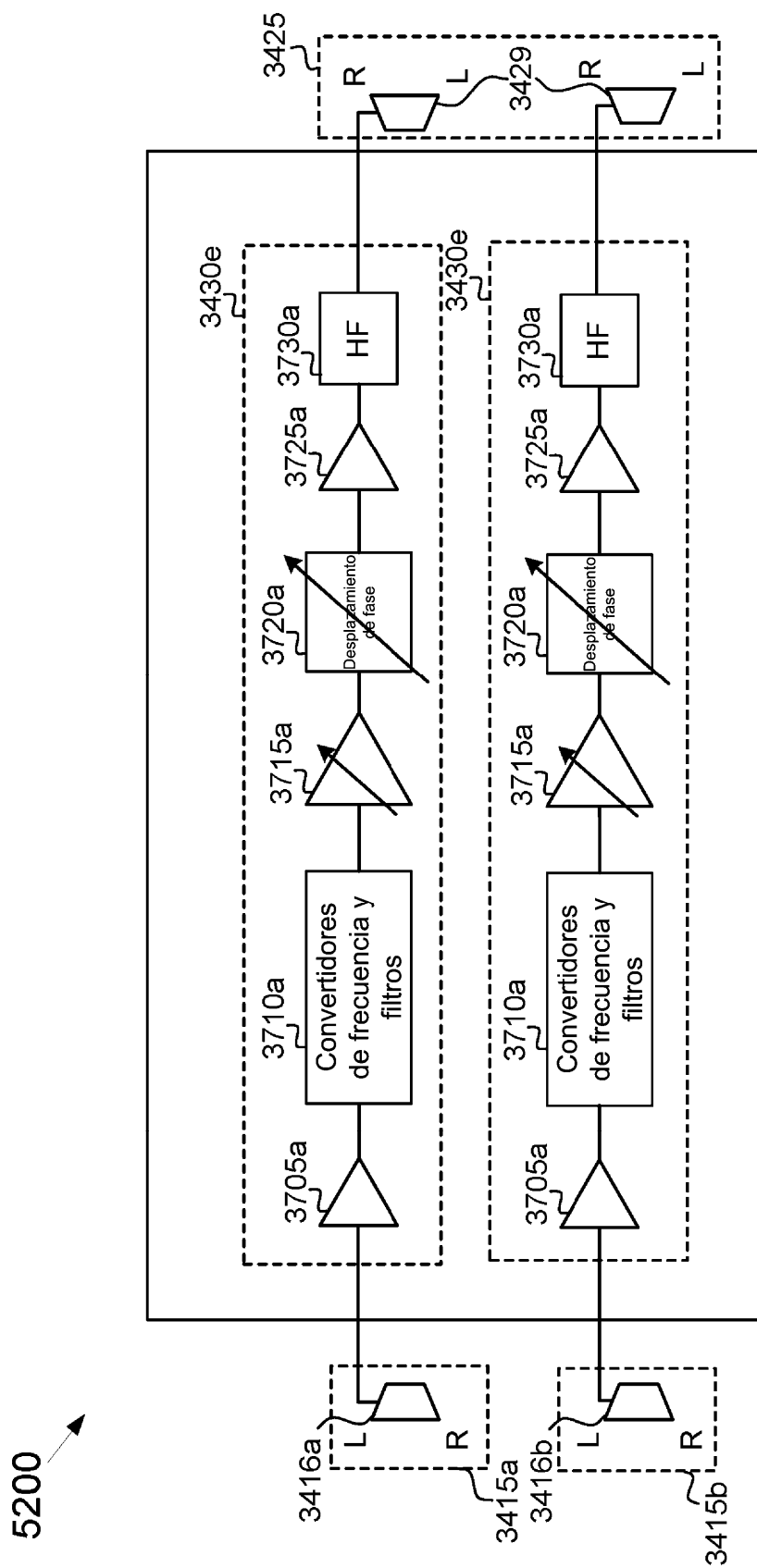


Fig. 52A

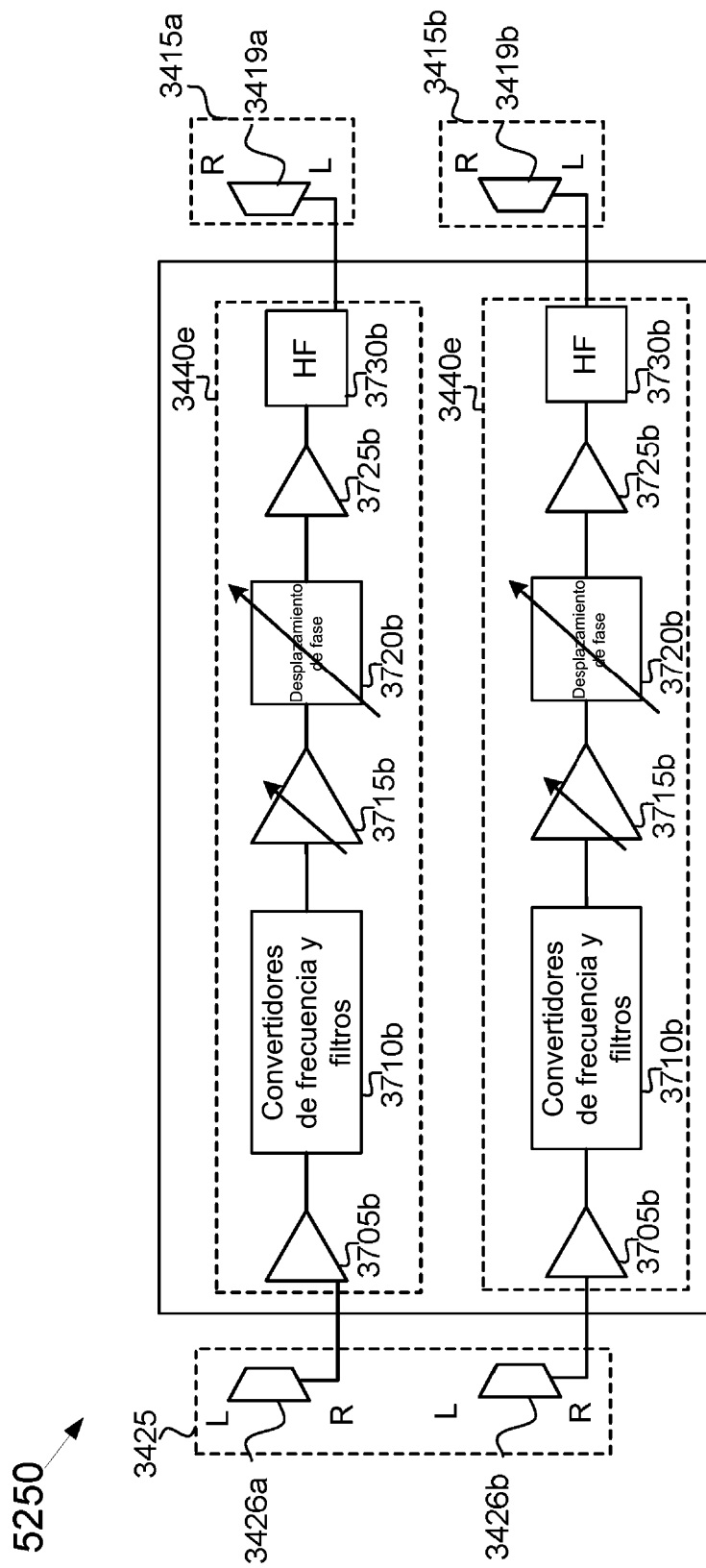


Fig. 52B

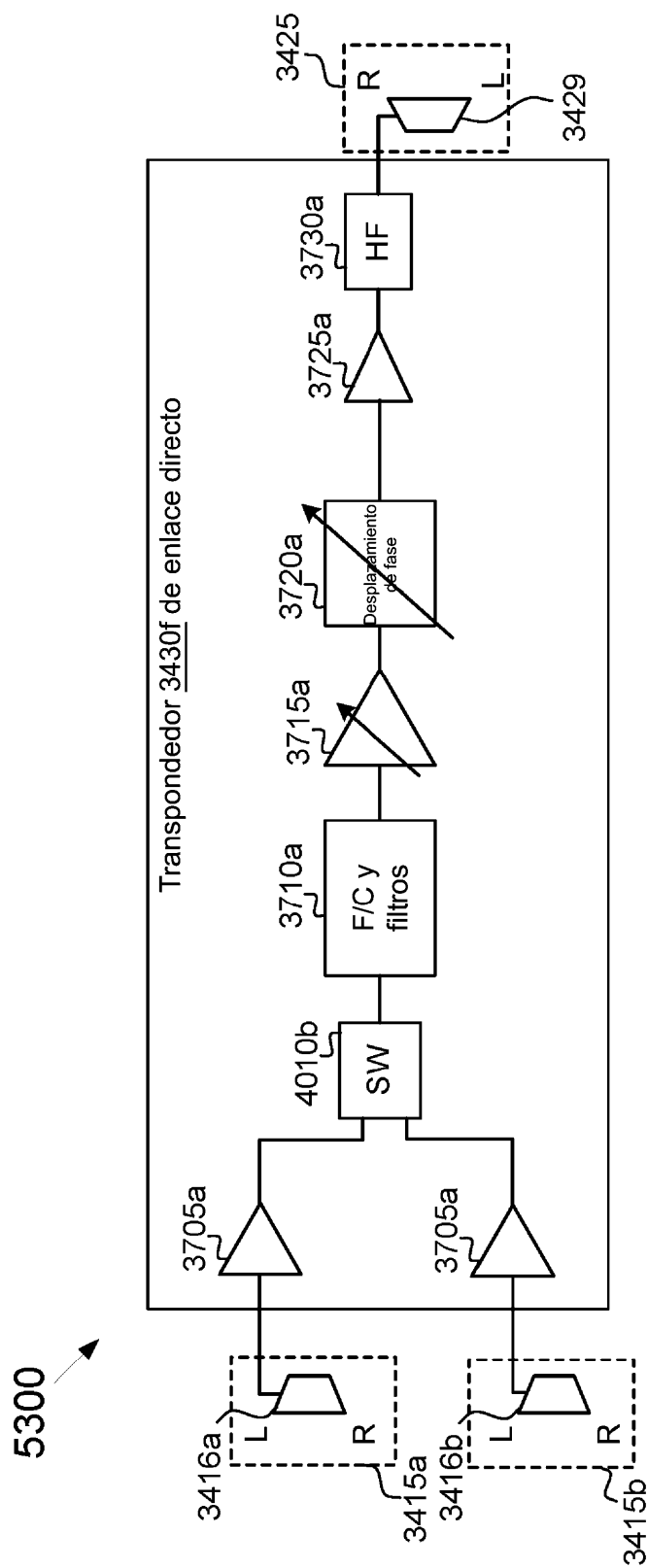


Fig. 53A

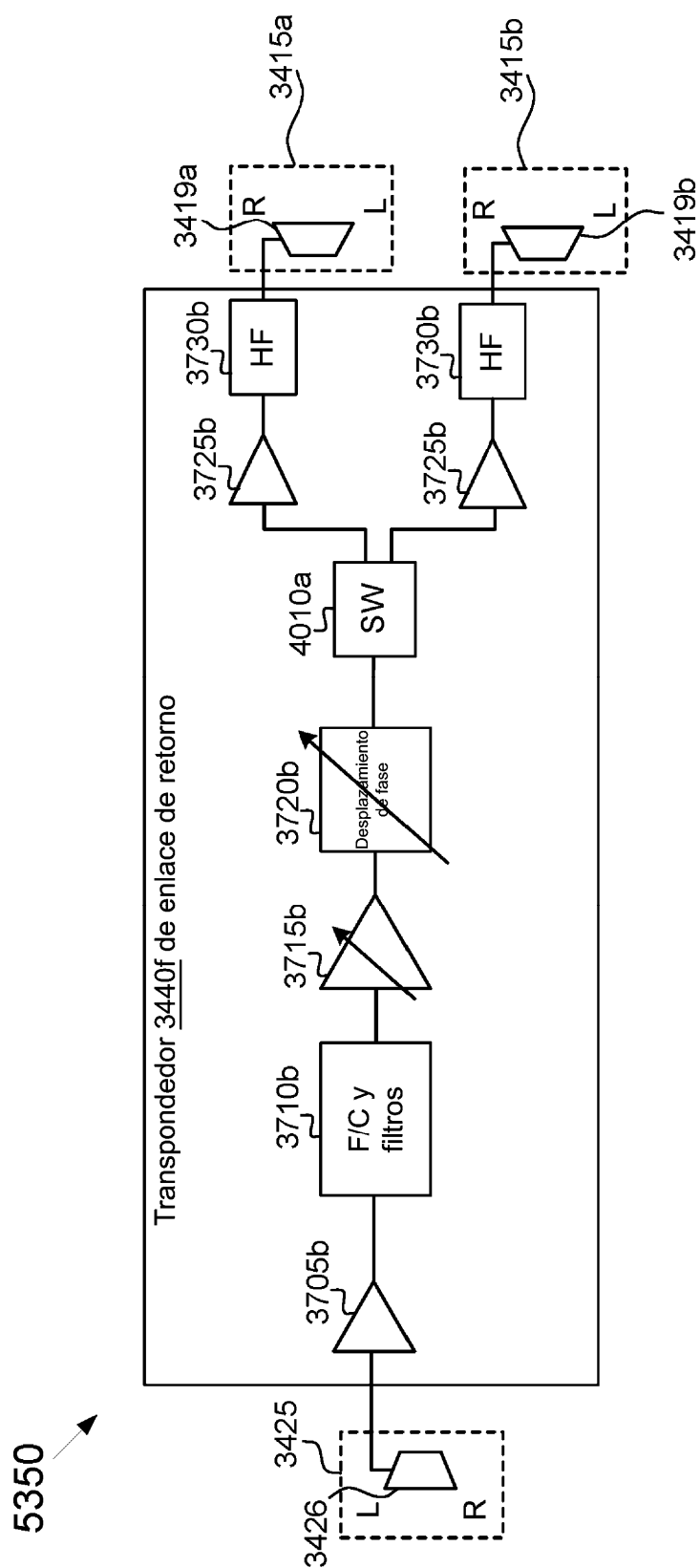


Fig. 53B

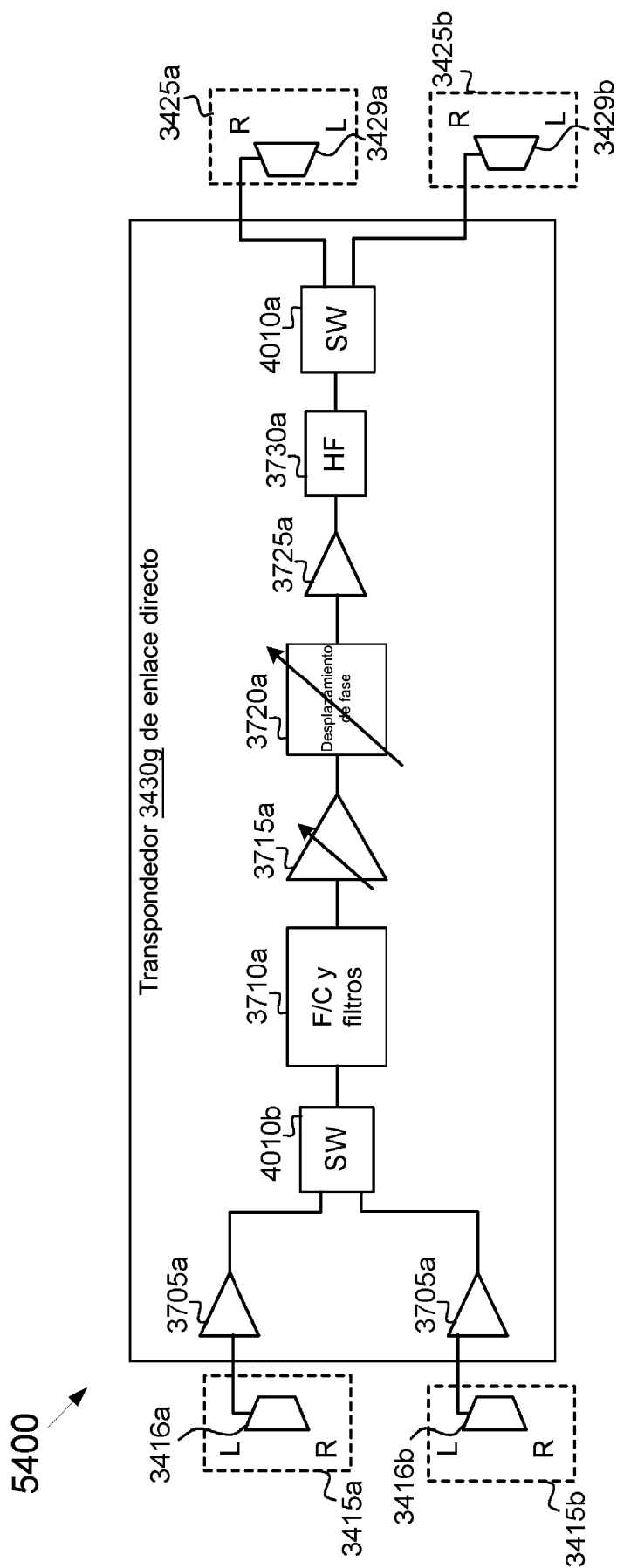


Fig. 54A

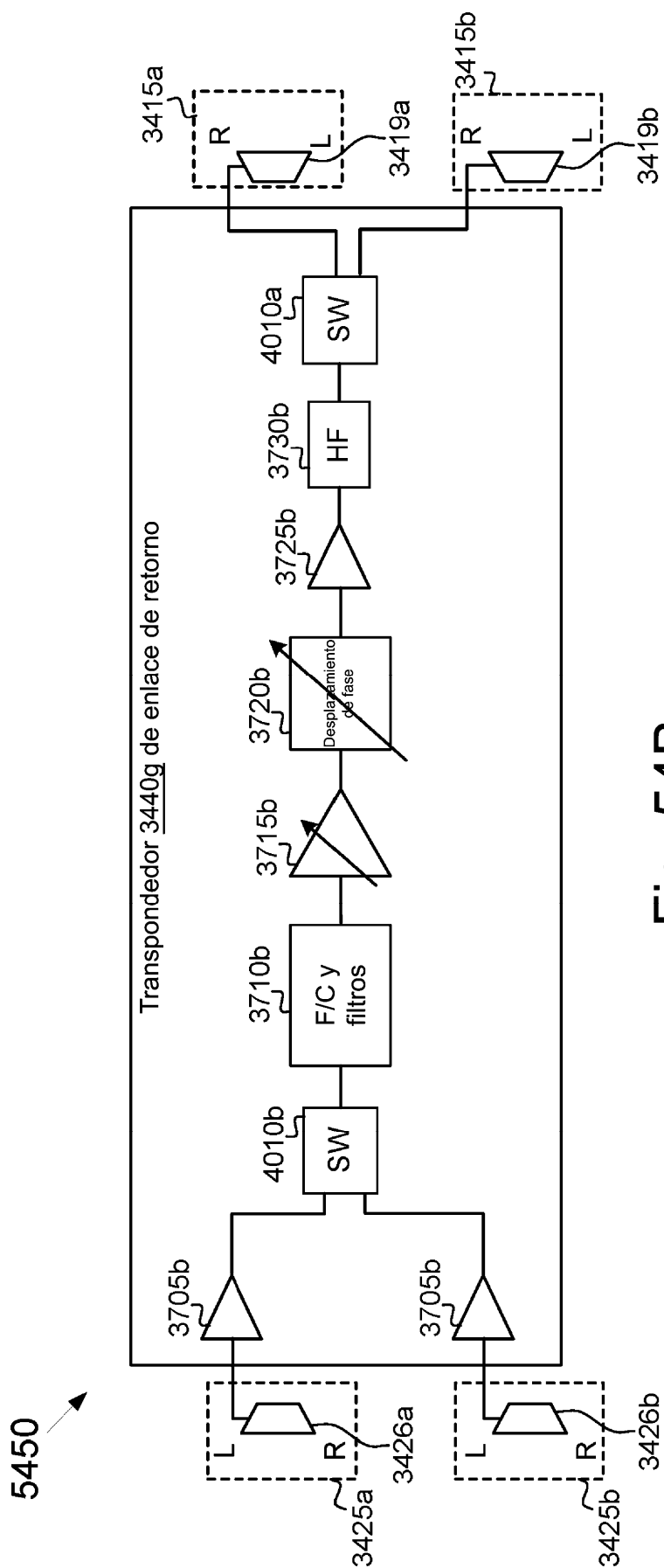


Fig. 54B

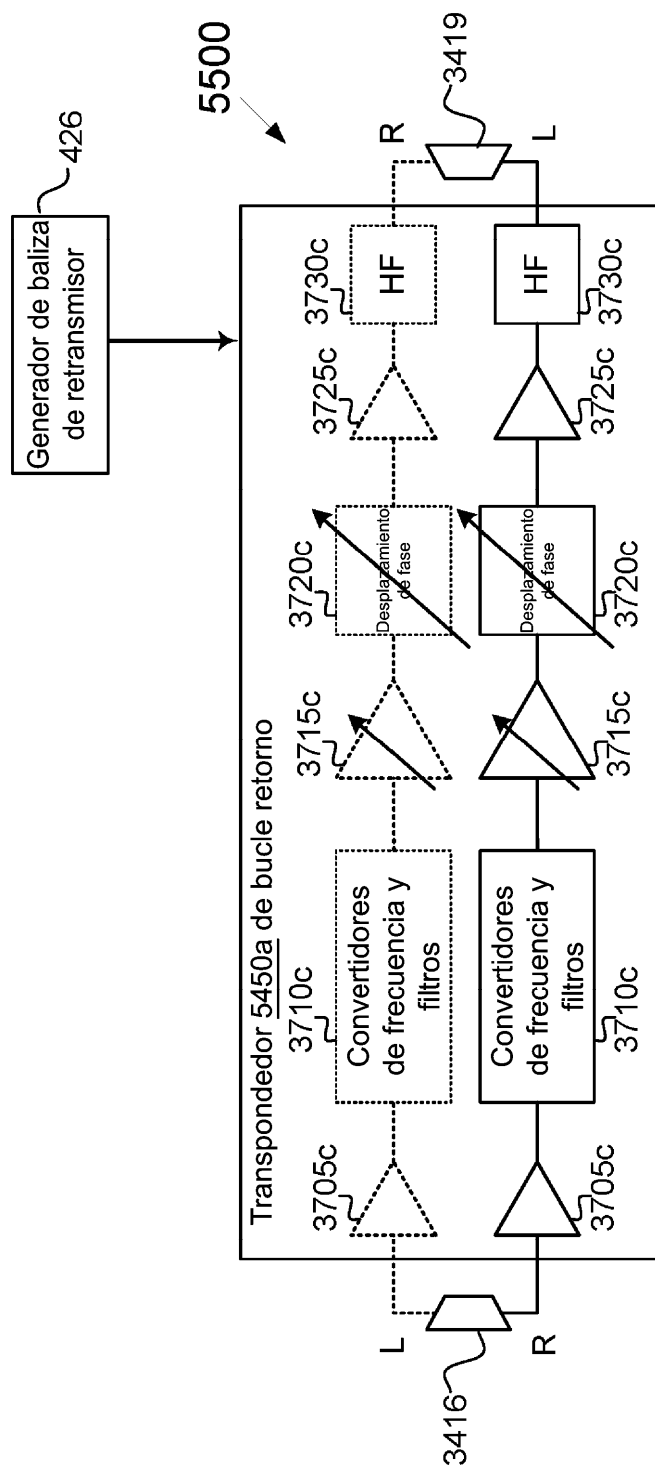


Fig. 55A

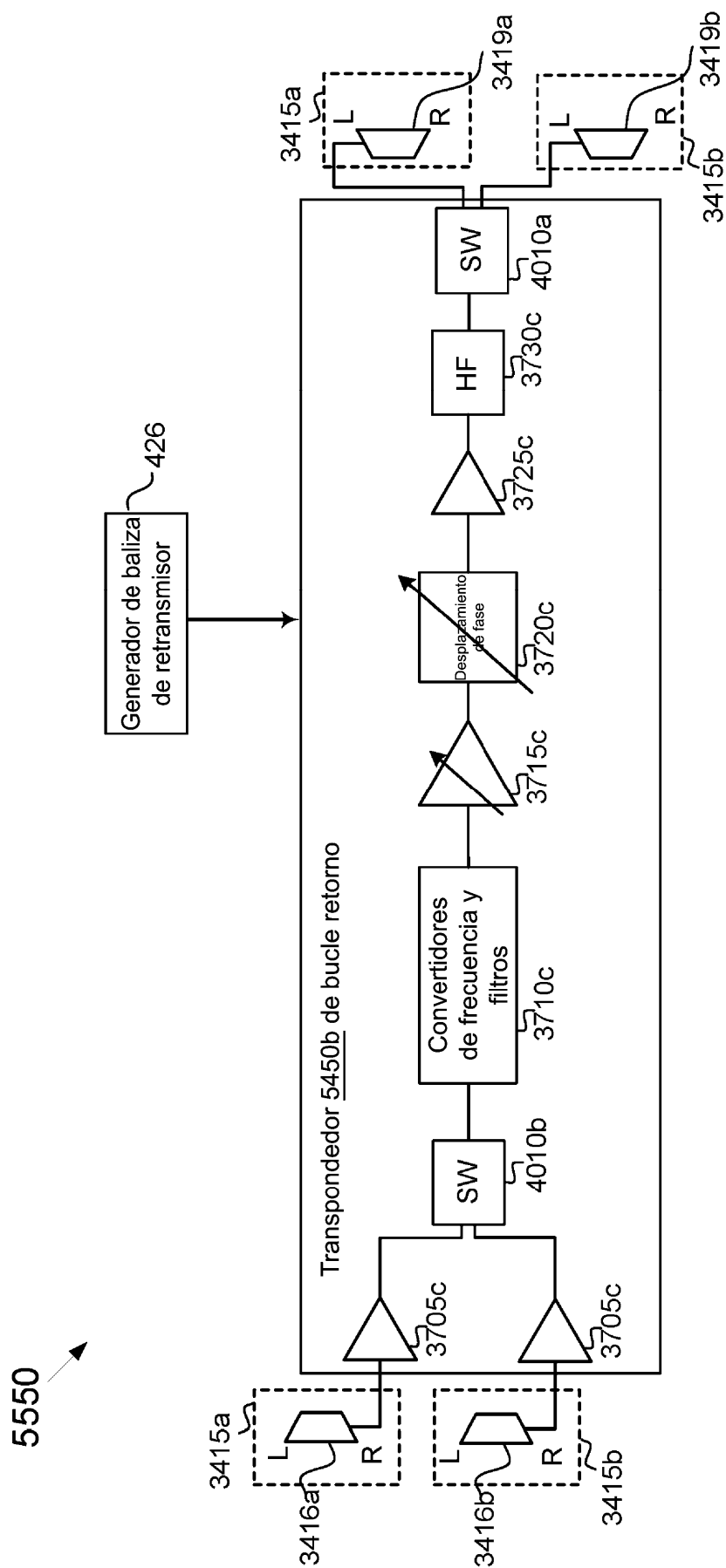


Fig. 55B

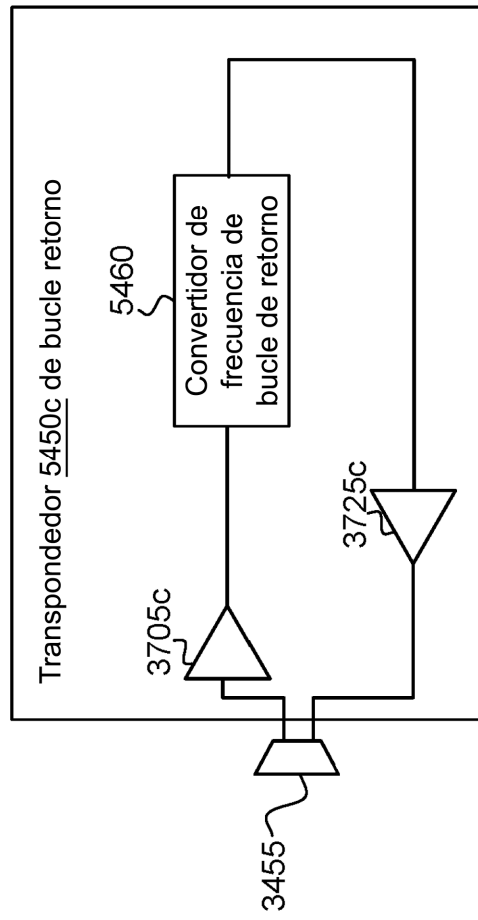


Fig. 55C

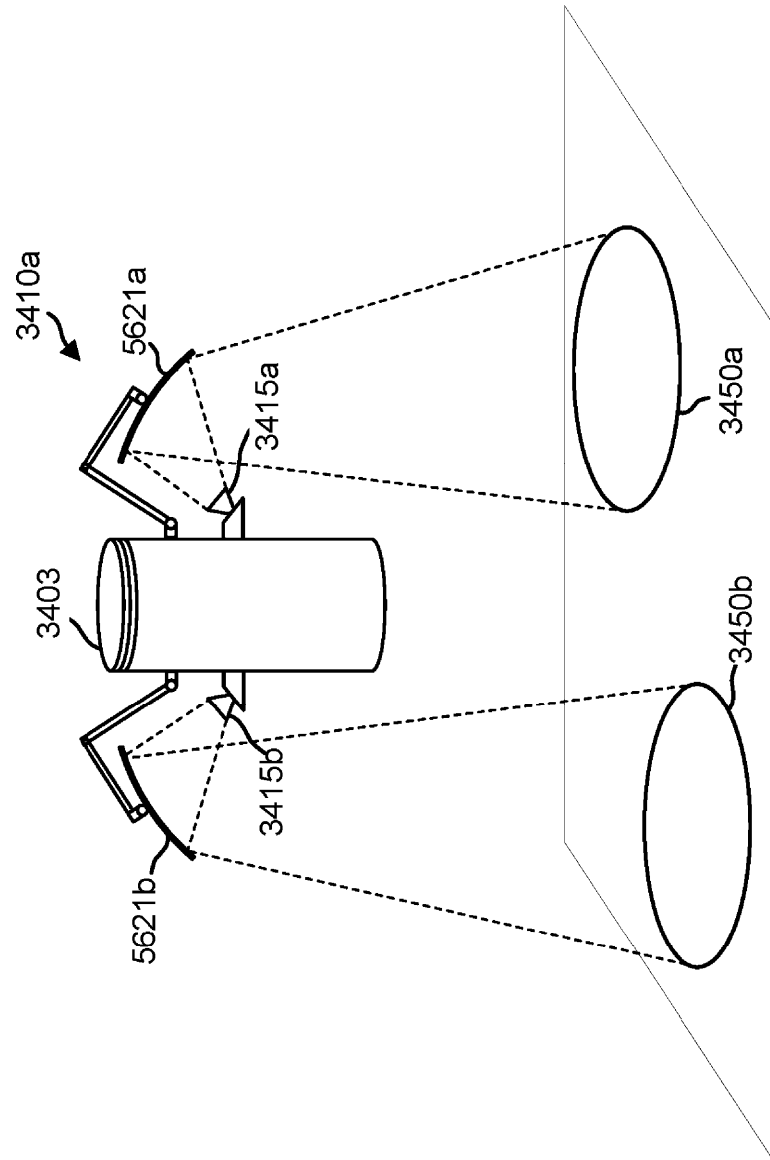


Fig. 56A

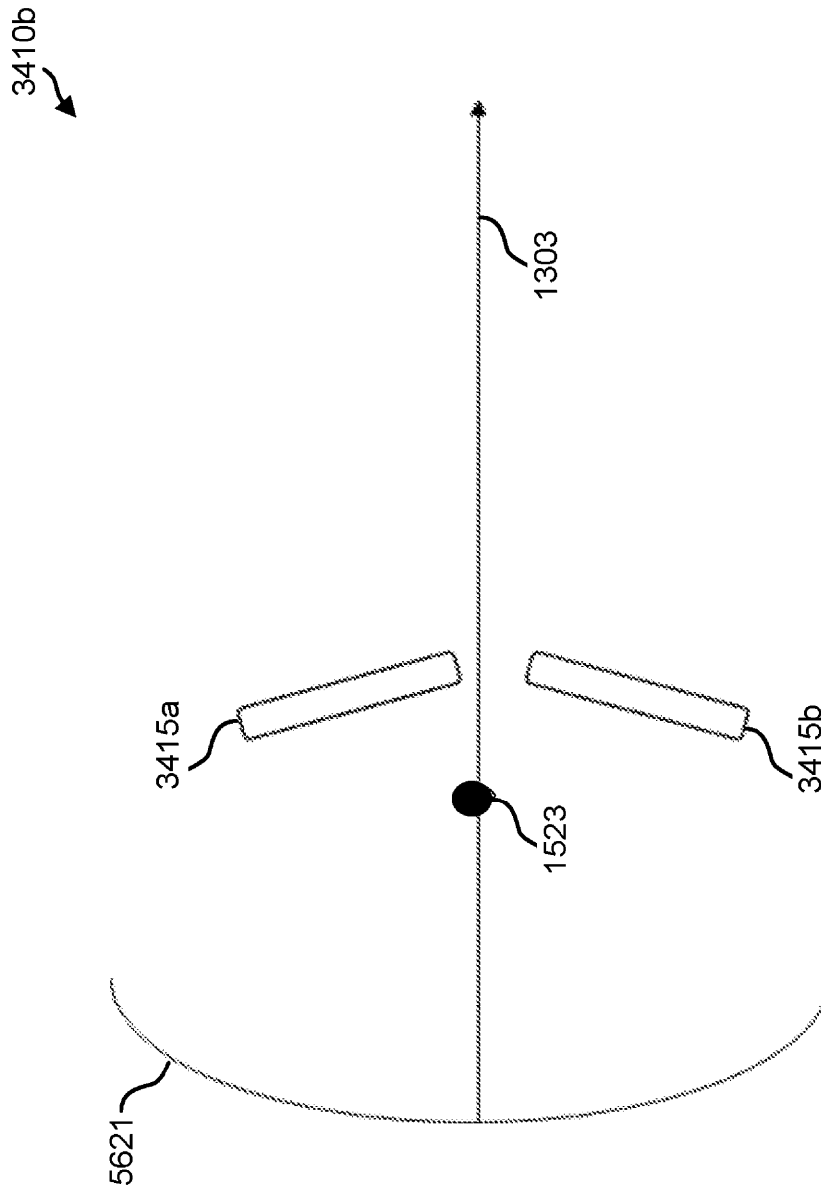


Fig. 56B

3410c

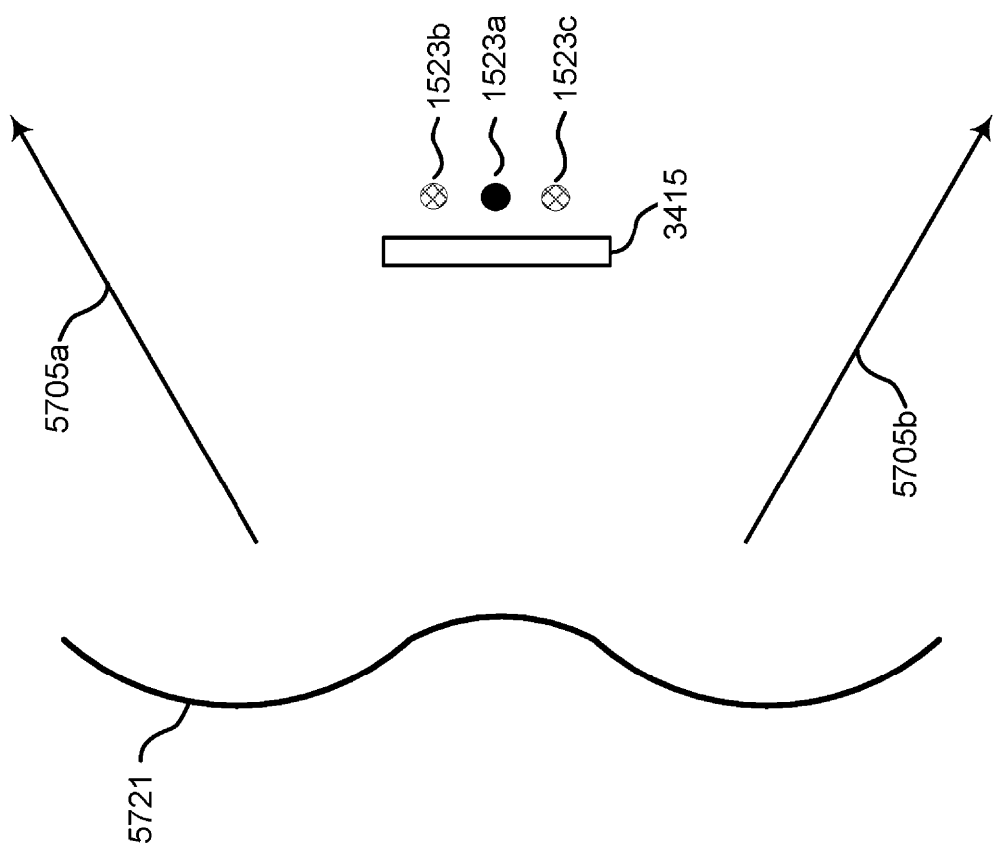


Fig. 57

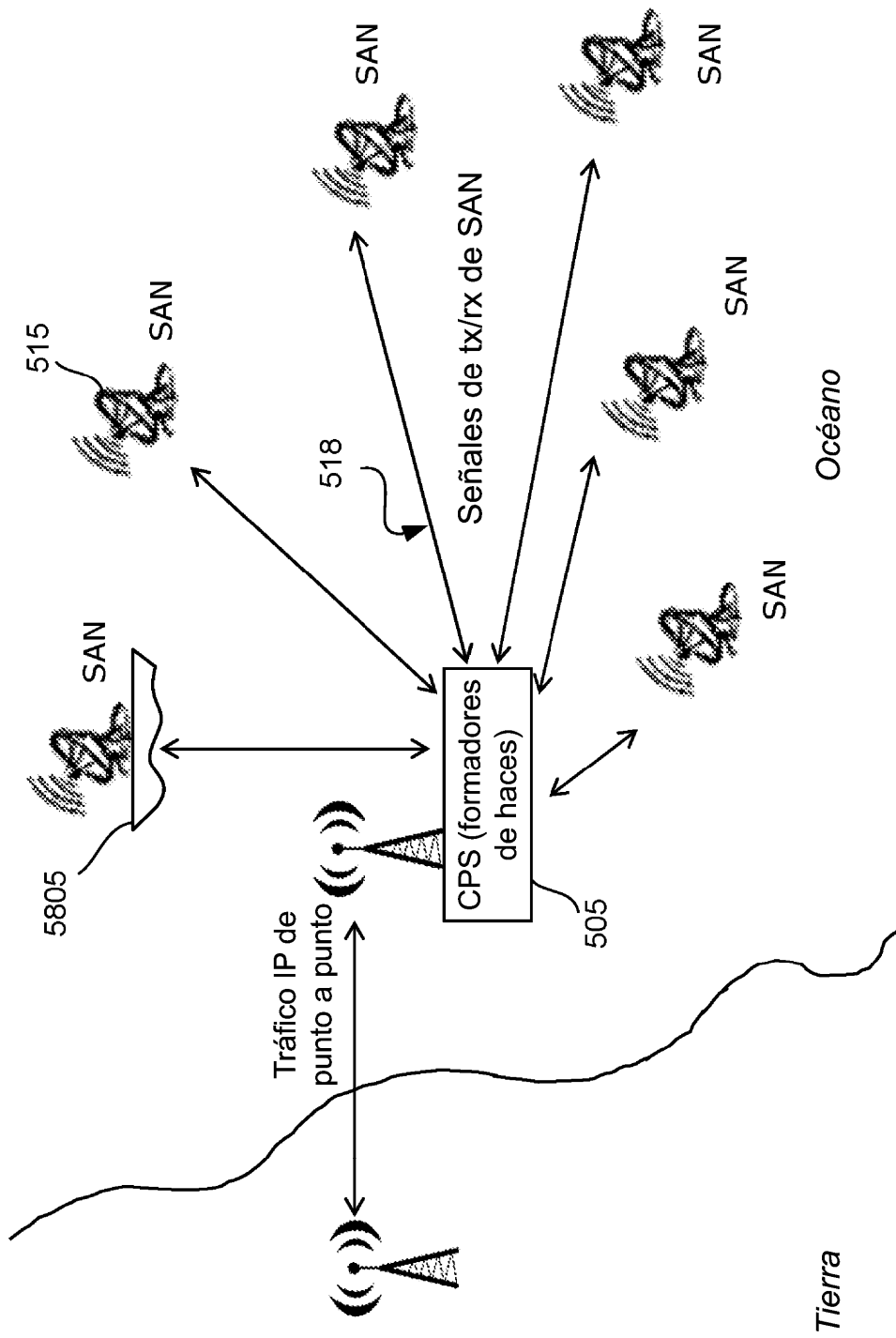


Fig. 58

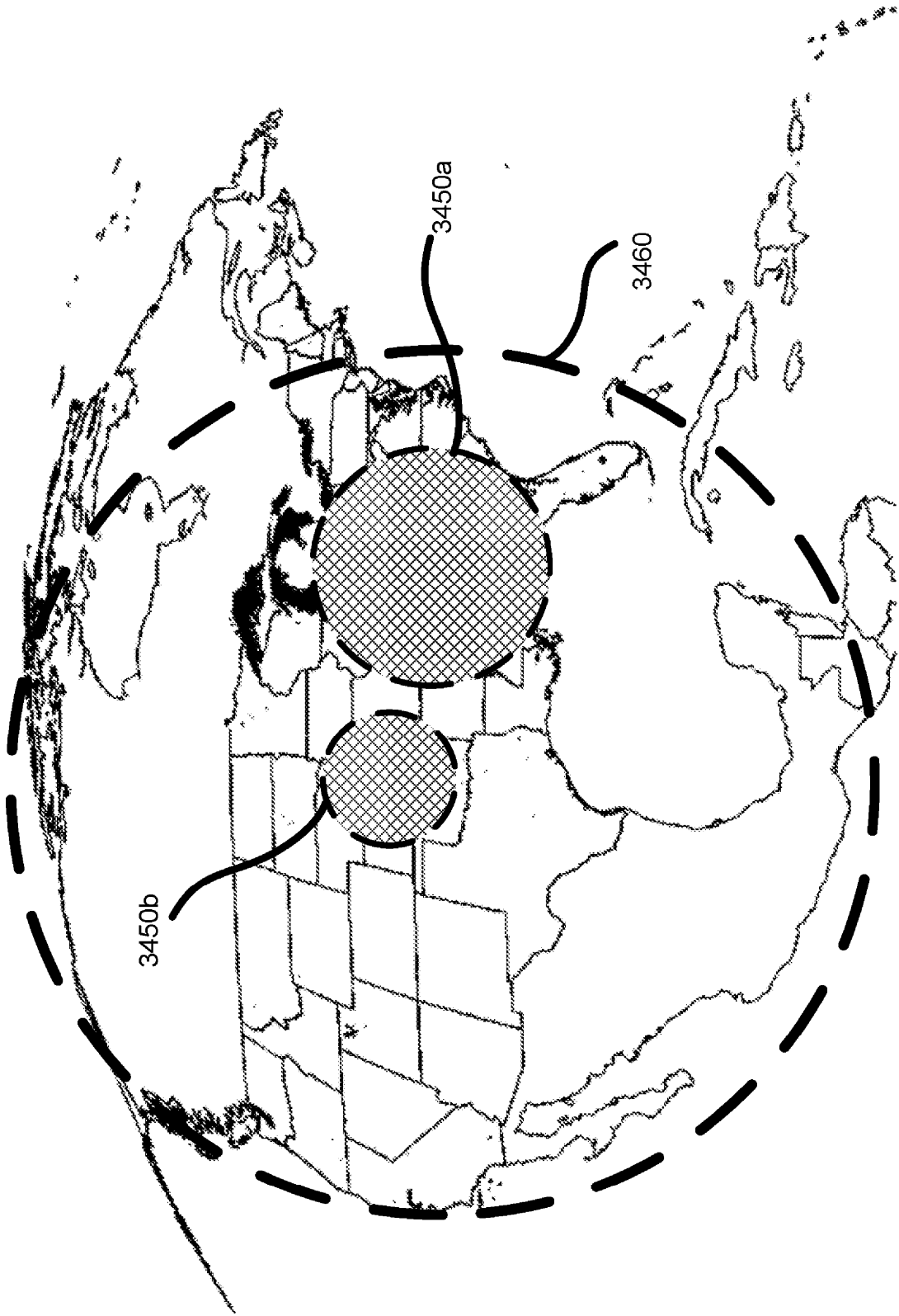


Fig. 59A

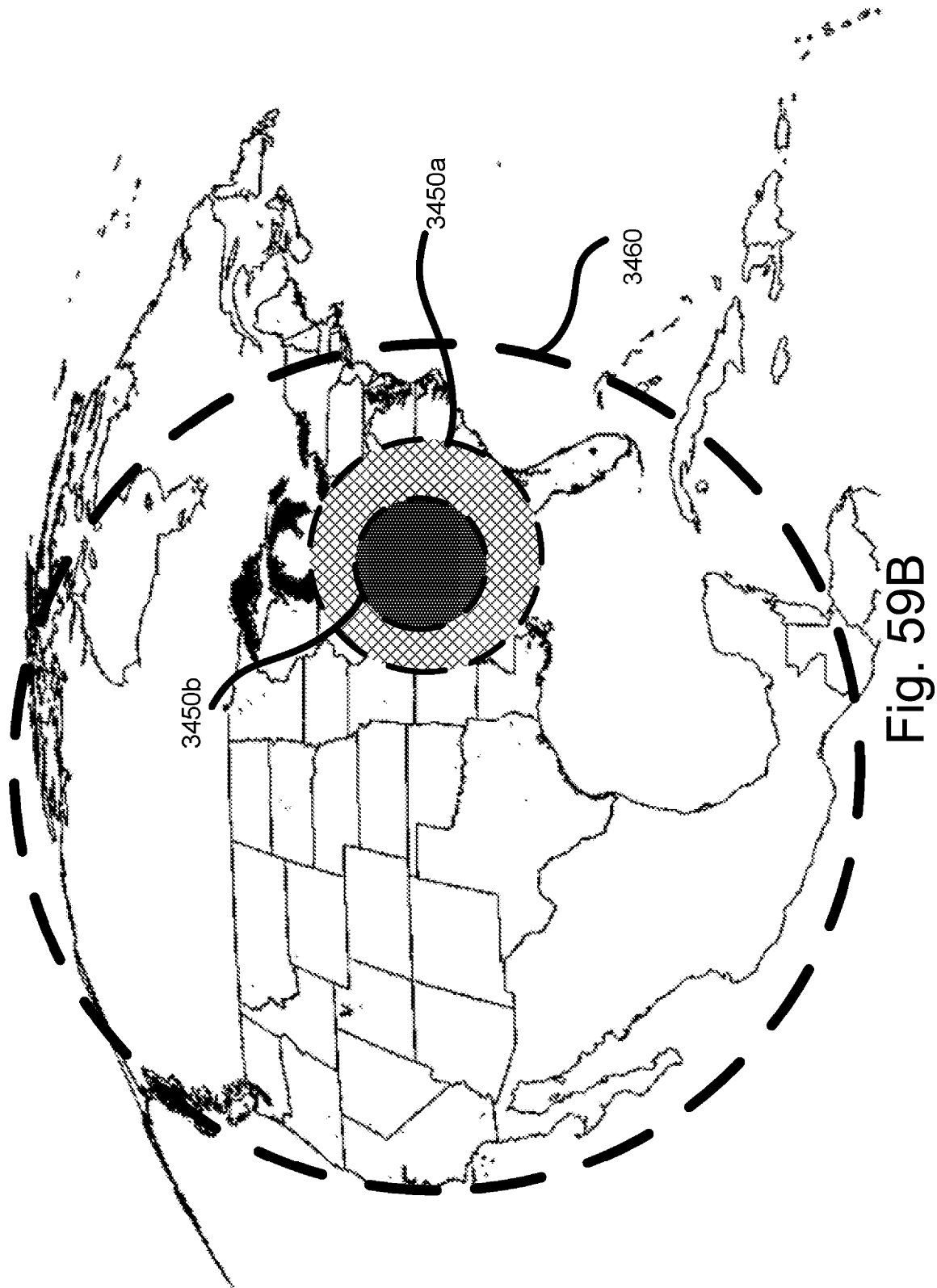


Fig. 59B

6000

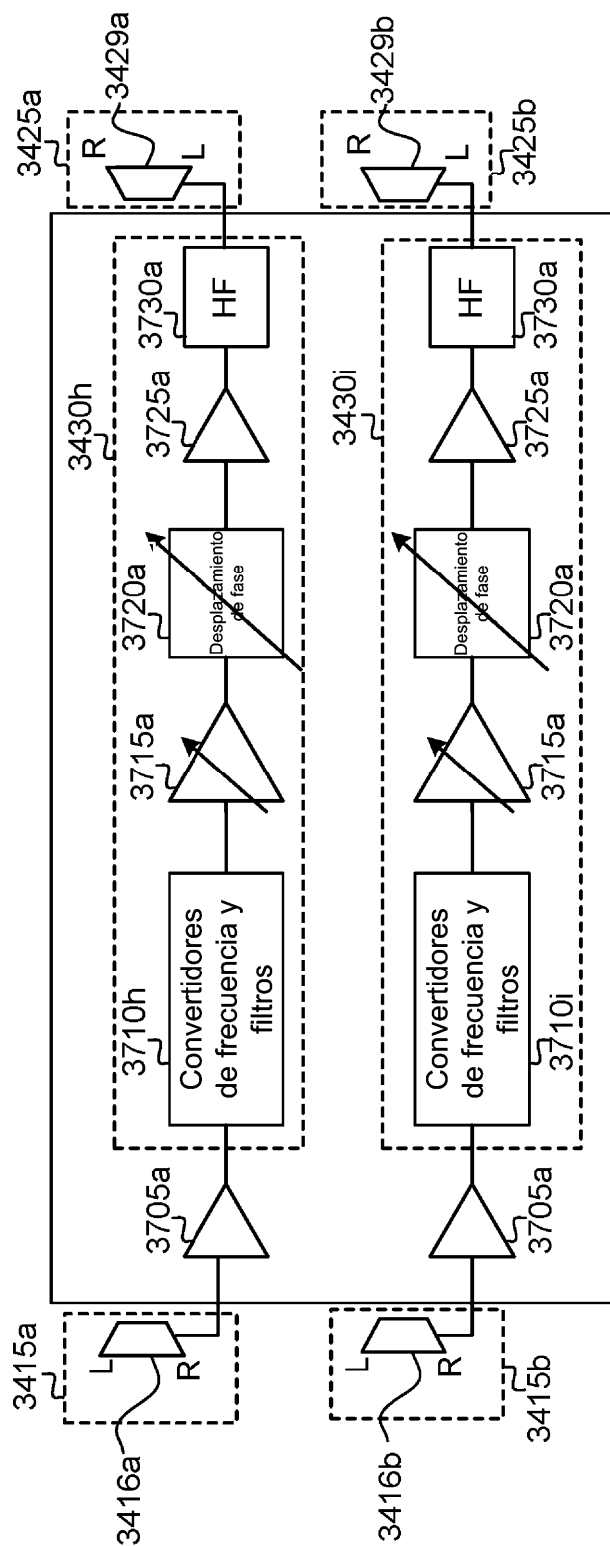


Fig. 60A

6050

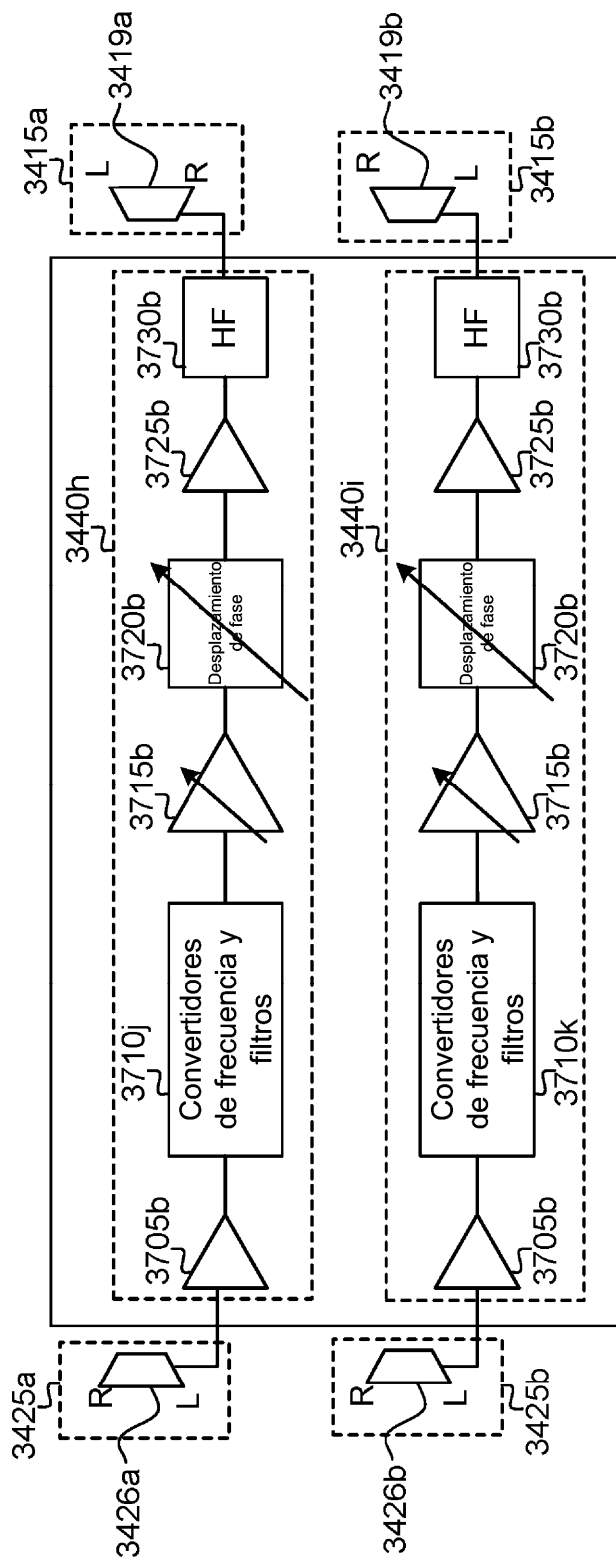


Fig. 60B

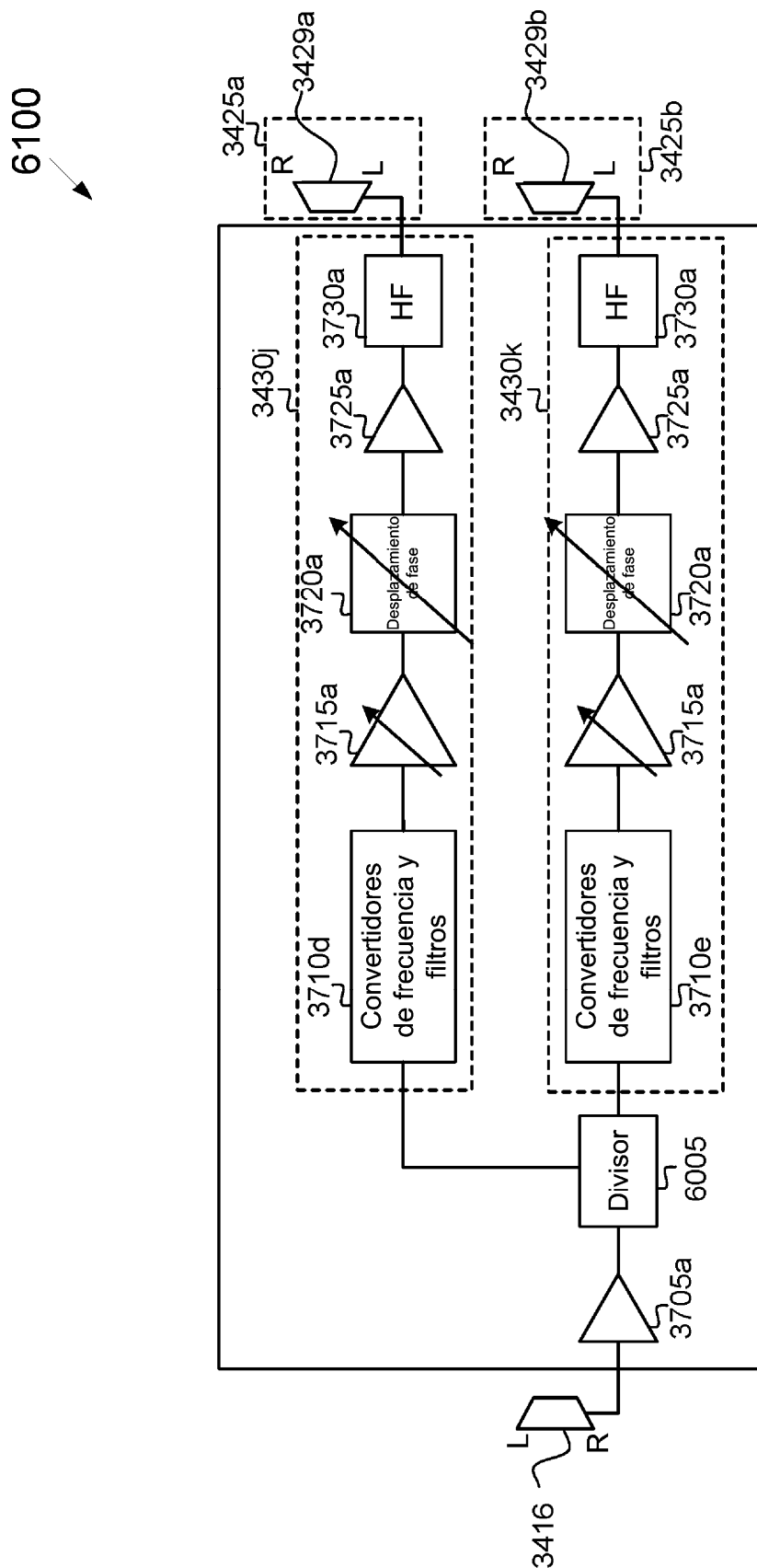


Fig. 61A

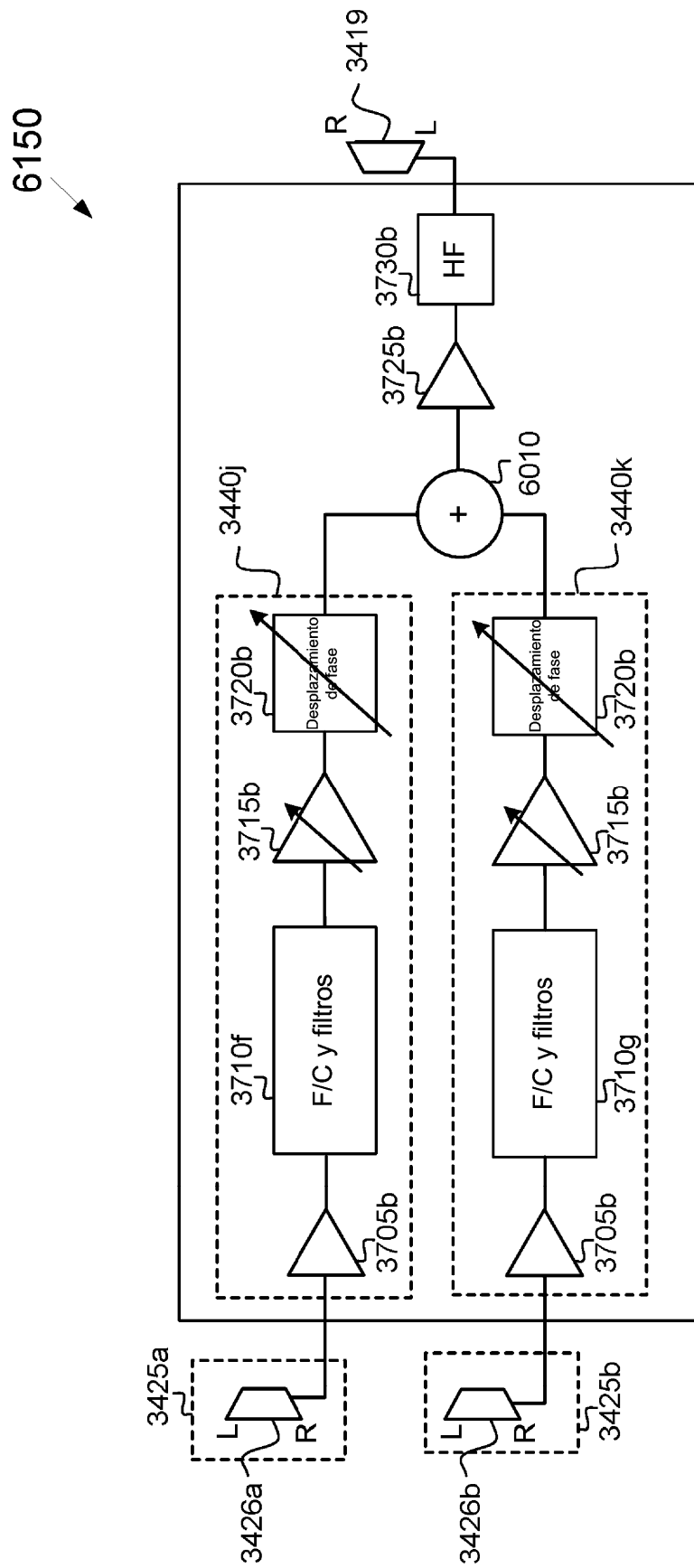


Fig. 61B

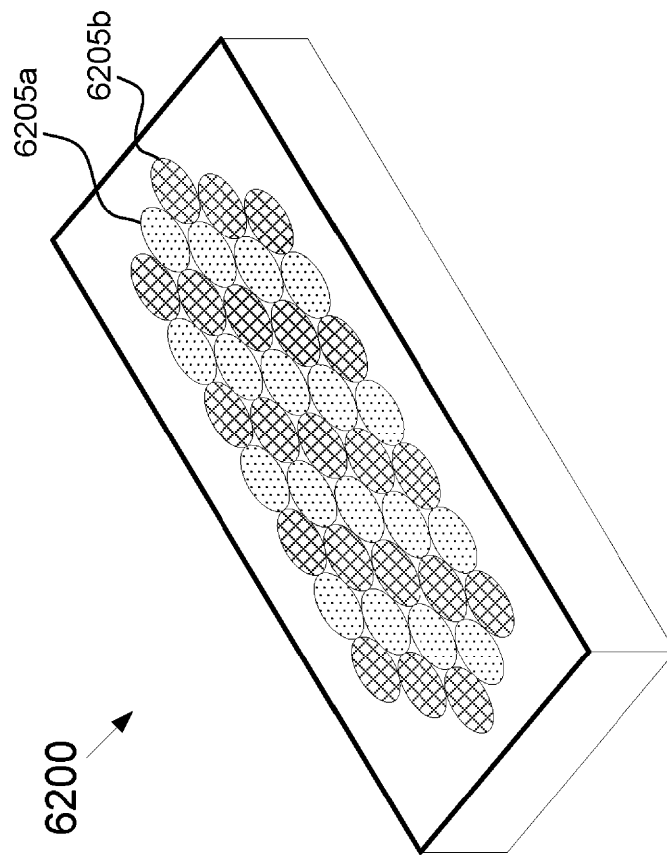


Fig. 62

6300

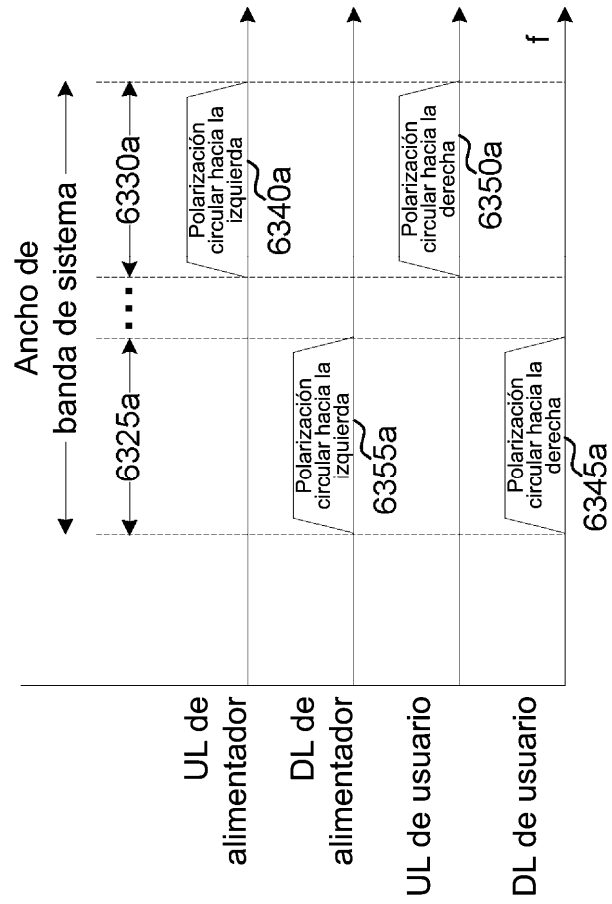


Fig. 63A

6301

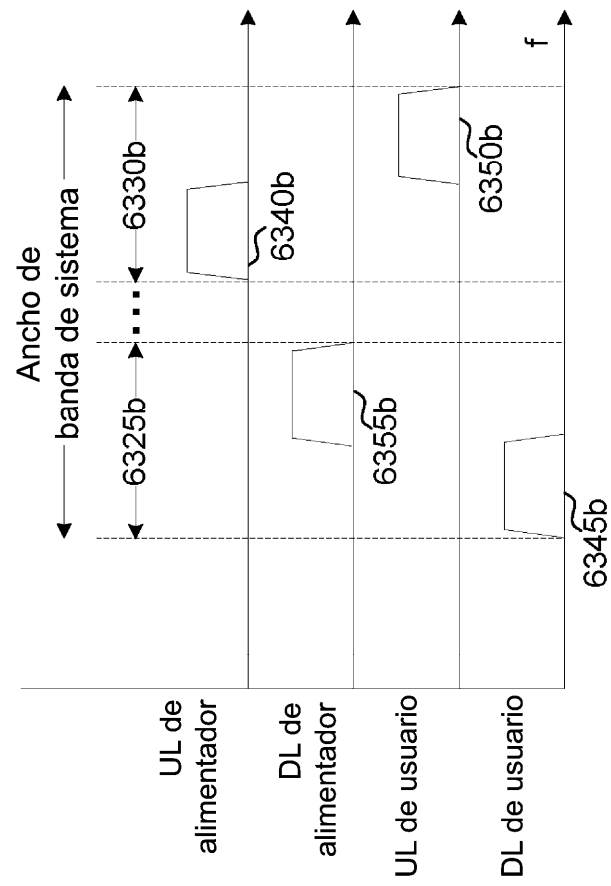


Fig. 63B

6400

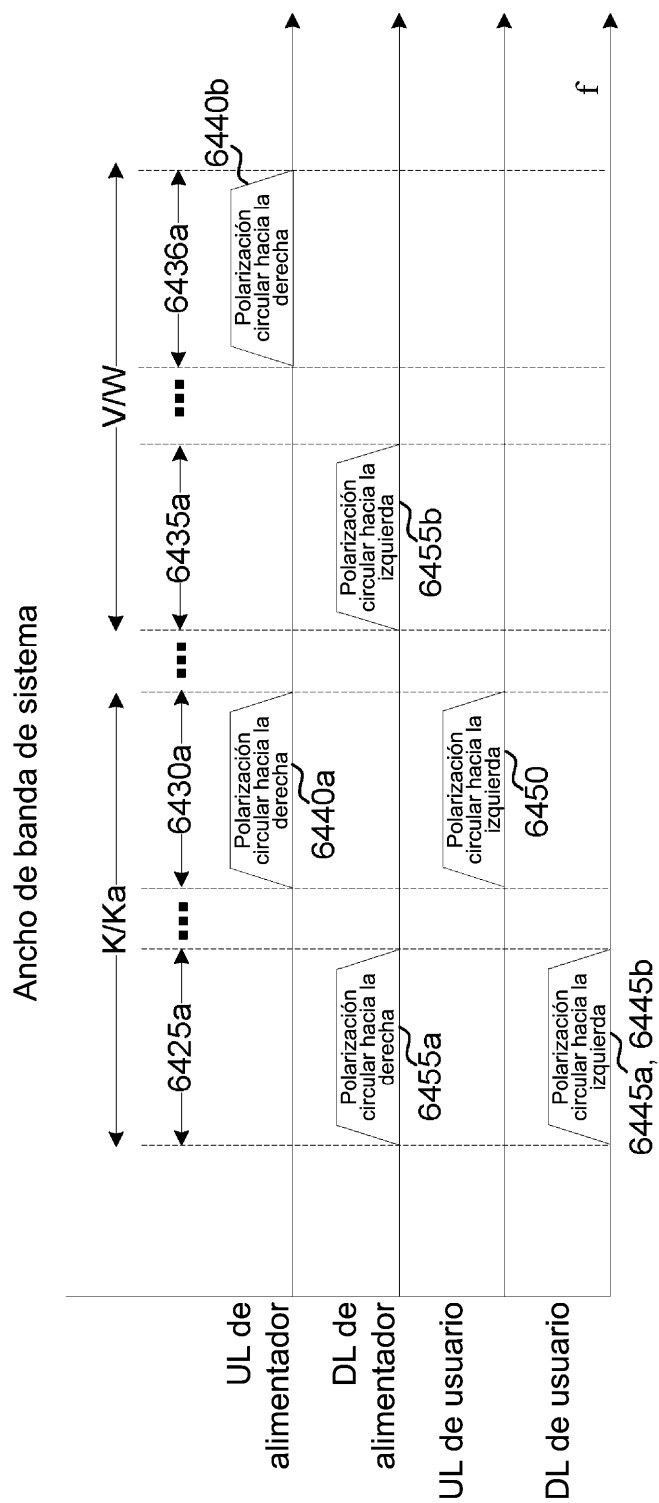


Fig. 64A

6401

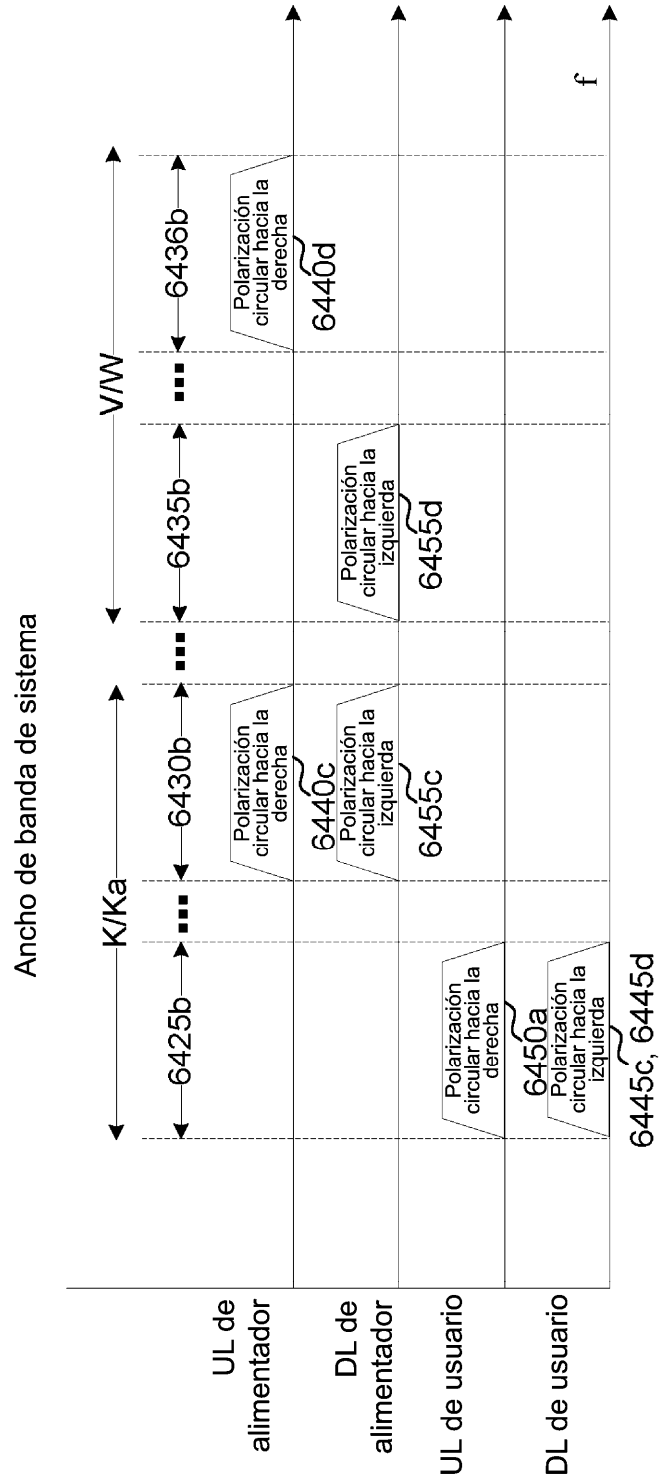


Fig. 64B

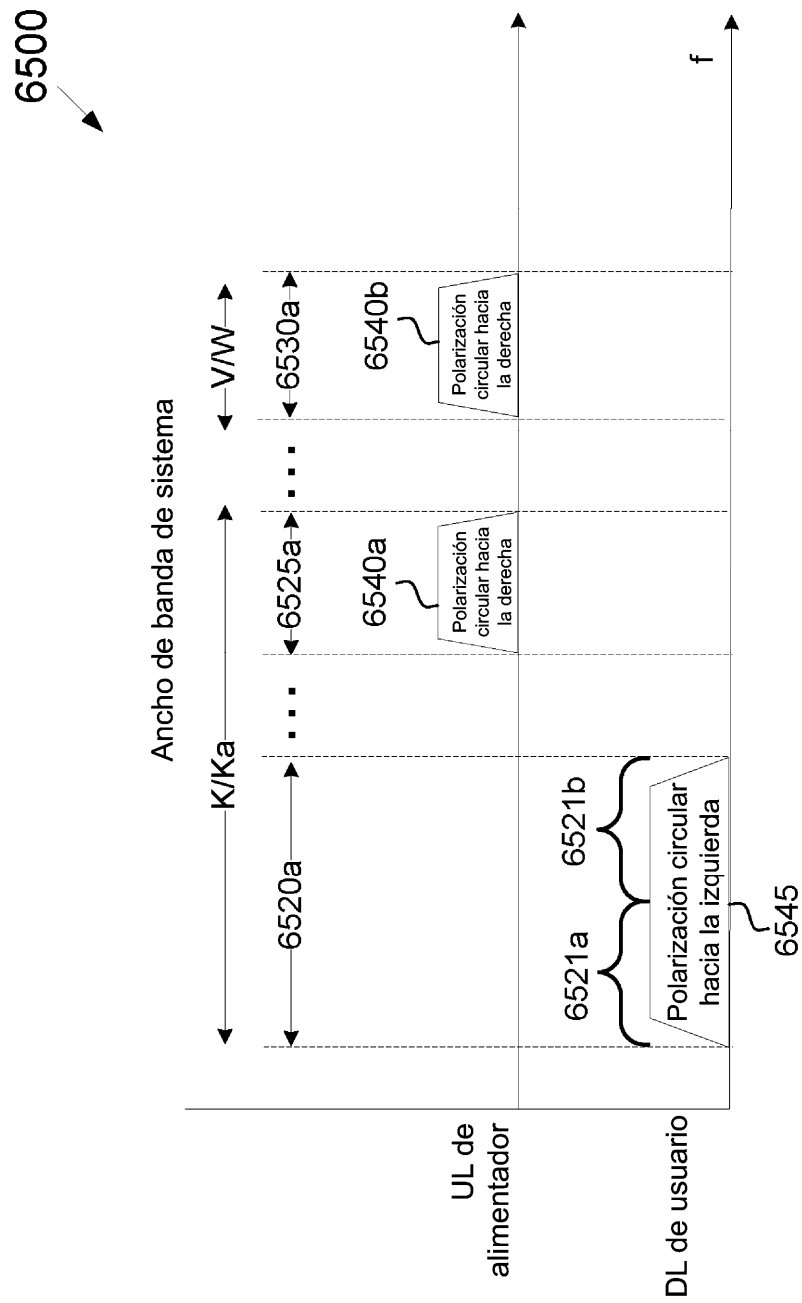


Fig. 65A

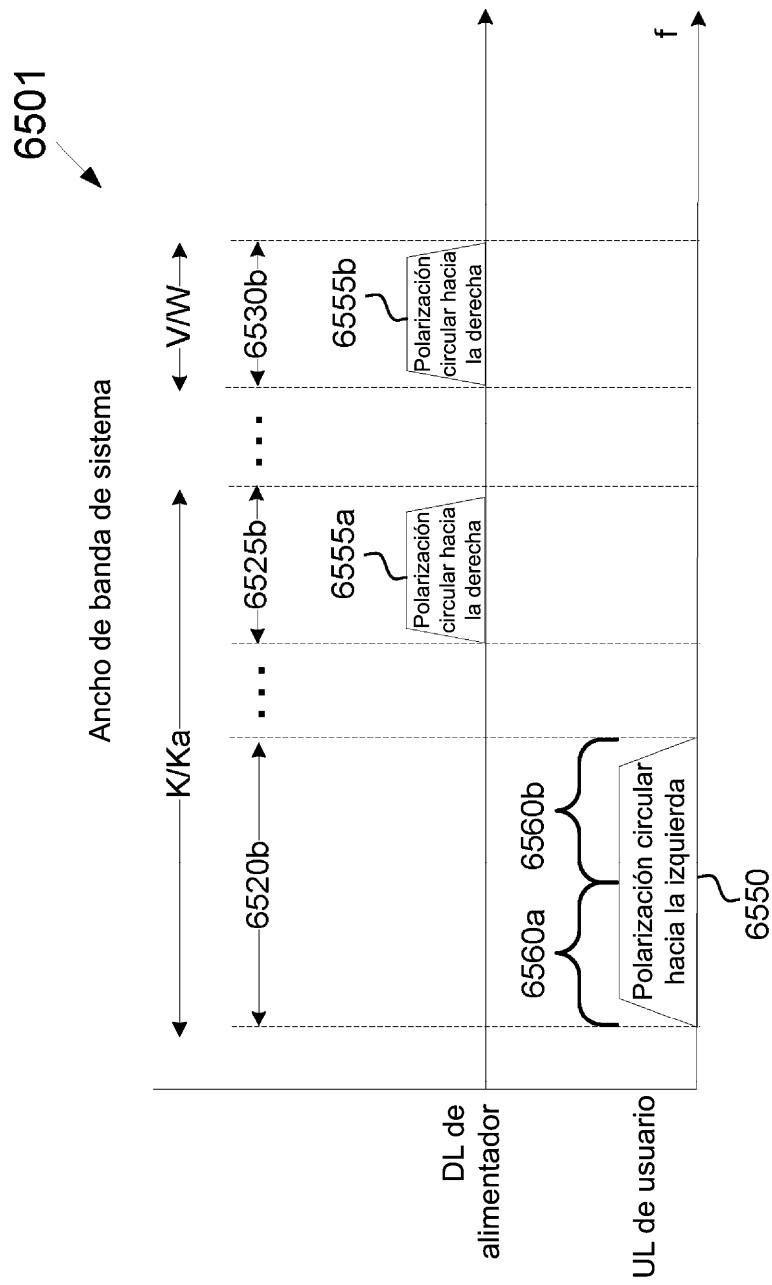


Fig. 65B

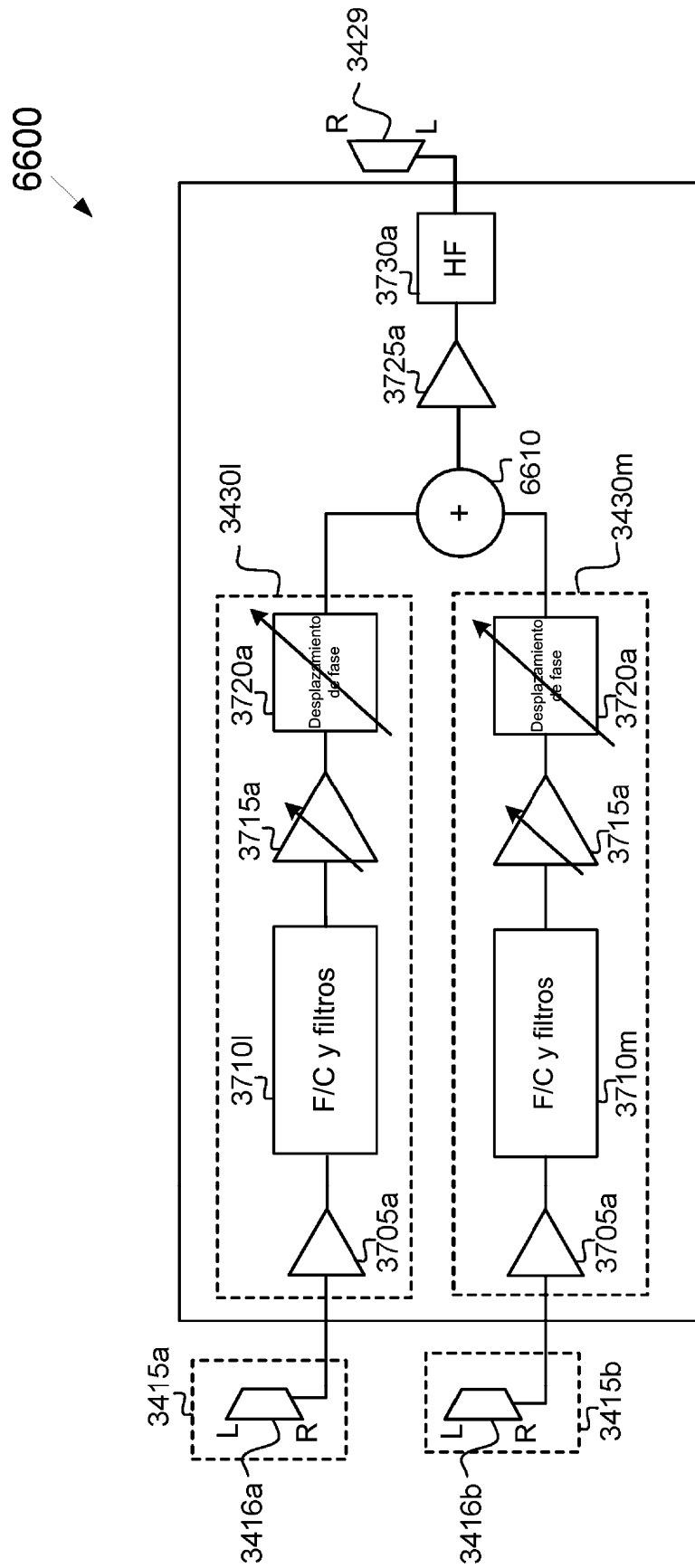


Fig. 66A

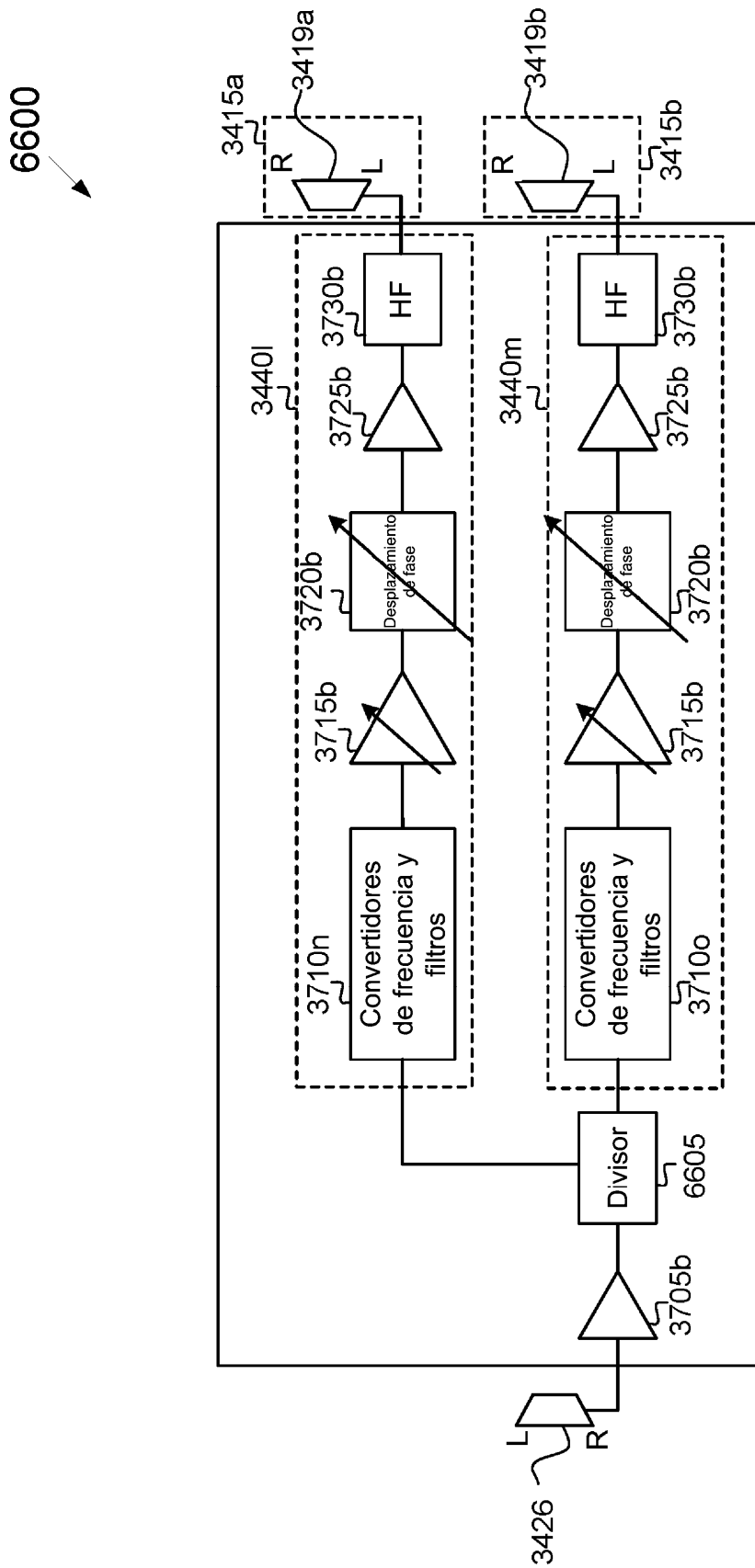


Fig. 66B