

SATÉLITES Y SISTEMAS PARA LA FORMACIÓN DE HAZ DE EXTREMO A EXTREMO

CAMPO TÉCNICO

Los sistemas, métodos y aparatos descritos se refieren a la formación de haces de extremo a extremo en un sistema mediante el uso de un relé de extremo a extremo.

ANTECEDENTES

Los sistemas de comunicación inalámbrica, tales como los sistemas de comunicación por satélite, proporcionan un medio por el cual los datos, que incluyen audio, video, y otros diversos tipos de datos, pueden comunicarse desde una ubicación a otra. La información se origina en una primera estación, tal como una primera estación terrestre, y se transmite a un relé inalámbrico, tal como un satélite de comunicaciones. La información recibida por el relé inalámbrico se retransmite a una segunda estación, tal como una segunda estación terrestre. En algunos sistemas de comunicaciones de relés inalámbricos, ya sea la primera o la segunda estación (o ambas) se montan en una embarcación, tal como una embarcación aérea, una embarcación marítima, o una embarcación terrestre. La información puede transmitirse en solo una dirección (p. ej., solamente desde una primera estación terrestre a una segunda estación terrestre) o puede transmitirse en ambas direcciones (p. ej., además desde la segunda estación terrestre a la primera estación terrestre).

En un sistema de comunicaciones de relé inalámbrico en el cual el relé inalámbrico es un satélite, el satélite puede ser un satélite geoestacionario, en cuyo caso la órbita del satélite se sincroniza a 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 el área de cobertura del satélite se mueva sobre la superficie de la Tierra mientras el satélite atraviesa su trayectoria orbital.

Las señales que se dirigen a o desde una primera estación pueden dirigirse mediante el uso de una antena que se conforma para enfocar la señal en un haz estrecho. Normalmente tales antenas tienen un reflector con forma parabólica enfocar el haz.

En algunos casos, un haz puede formarse electrónicamente al ajustar la ganancia y la fase (o tiempo de retardo) de señales que se transmiten, se reciben, o de ambas desde varios elementos de una antena de elementos de fase. El haz puede dirigirse al seleccionar correctamente la fase y ganancia relativas transmitida y/o recibida por cada elemento de una antena de elementos de fase. En la mayoría de los casos, toda la energía que se transmite desde una estación terrestre se destina a recibirse por un relé inalámbrico. De manera similar, la información recibida por segunda

estación se recibe normalmente desde un relé inalámbrico a la vez. Por lo tanto, es normal que un haz de transmisión que se forma para transmitir la información al relé inalámbrico (ya sea por el uso de la formación de haces electrónica o por el uso de una antena con un reflector conformado) es relativamente estrecho para permitir que tanta transmisión de energía como sea posible se dirija al relé inalámbrico. Del mismo modo, un haz de recepción que se forma para recibir la información desde el relé inalámbrico es normalmente estrecho para reunir la energía desde la dirección del relé inalámbrico con la mínima interferencia desde otras fuentes.

En muchos casos de interés, las señales que se transmiten desde el relé inalámbrico a la primera y la segunda estaciones no se dirigen a una sola estación. Más bien, el relé inalámbrico es capaz de transmitir señales sobre un área geográfica relativamente grande. Por ejemplo, en un sistema de comunicaciones por satélite, un satélite puede servir la totalidad de los Estados Unidos continentales. En tal caso, se dice que el satélite tiene un área de cobertura del satelital que incluye la totalidad de los Estados Unidos continentales. Sin embargo, con el propósito de aumentar la cantidad de datos que pueden transmitirse a través de un satélite, la energía transmitida por el satélite puede enfocarse en los haces. Los haces pueden dirigirse a áreas geográficas en la Tierra.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Los dibujos se proporcionan solamente para propósitos de ilustración, y simplemente representan ejemplos. Estos dibujos se proporcionan para facilitar la comprensión del lector del método descrito y del aparato. No limitan la amplitud, alcance, o la aplicabilidad de la invención reivindicada. Para mayor claridad y facilidad de ilustración, estos dibujos no se hacen necesariamente a escala.

La Figura 1 es una ilustración de un ejemplo de un sistema de comunicación por satélite.

La Figura 2 es un diagrama que muestra un patrón de haces ilustrativo que abarca Estados Unidos continental.

La Figura 3 es una ilustración de un ejemplo del enlace directo de un sistema de comunicación por satélite en el cual el satélite tiene una capacidad de formación de haces integrada de elementos de fase de alimentación múltiple por haz.

La Figura 4 es una ilustración de un ejemplo del enlace directo de un sistema de comunicación por satélite que tiene formación de haces terrestre.

La Figura 5 es una ilustración de un ejemplo de un sistema de formación de haces extremo a extremo.

La Figura 6 es una ilustración de ejemplo de los trayectos de las señales para las señales en la dirección de retorno.

La Figura 7 es una ilustración de ejemplo de los trayectos de la señal en la dirección de retorno desde una terminal de usuario.

La Figura 8 es una ilustración simplificada de un ejemplo de modelo de la matriz del canal de retorno de extremo a extremo.

La Figura 9 es una ilustración de ejemplo de los trayectos de la señal en la dirección directa.

La Figura 10 es una ilustración del ejemplo de los trayectos de la señal en la dirección directa a una terminal de usuario ubicada dentro de un área de cobertura del haz de usuario.

La Figura 11 es una ilustración simplificada de un ejemplo de modelo de la matriz del canal directo de extremo a extremo.

La Figura 12 es una ilustración de un ejemplo de satélite de relé extremo a extremo que soporta datos directos y de retorno.

La Figura 13 es una ilustración de un ejemplo de un rango de frecuencia de enlace ascendente que se divide en dos porciones.

La Figura 14 es una ilustración de un ejemplo de relé de extremo a extremo que multiplexa el tiempo entre los datos directos y los datos de retorno.

La Figura 15 es un diagrama de bloques de componentes de un ejemplo de relé de extremo a extremo implementado como un satélite.

La Figura 16 es un diagrama de bloques de un ejemplo de transpondedor que incluye un desfasador.

La Figura 17 es un gráfico de ejemplo de patrones de la intensidad de señal de varios de elementos de la antena.

La Figura 18 es una ilustración de ejemplo de los contornos de la intensidad de la señal de 3 dB para varios elementos de la antena.

La Figura 19 es una ilustración de ejemplo de los patrones de la intensidad de la señal de superposición de varios elementos de la antena.

Las Figuras 20A – 20E son una ilustración de ejemplo de los contornos de intensidad de la señal de 3 dB de superposición para varios elementos de la antena.

La Figura 21 es una ilustración de un ejemplo de enumeración de los 16 elementos de la antena y sus contornos de intensidad de señal de 3 dB de superposición.

La Figura 22 es una tabla que muestra un ejemplo de correlaciones de los elementos de la antena de recepción a los elementos de la antena de transmisión a través de los 16 transpondedores.

La Figura 23 es una ilustración de una sección transversal de un reflector de antena parabólica y un arreglo de elementos centrados en el punto focal de la parábola.

La Figura 24 es una ilustración de una sección transversal de un reflector de antena parabólica y un arreglo de elementos colocados lejos del punto focal de la parábola.

La Figura 25 es una ilustración de un ejemplo de un área de cobertura del relé (se muestra con un solo sombreado diagonal) y el área (se muestra con doble sombreado diagonal) definida por los puntos dentro del área de cobertura del relé que están contenidos, además, dentro de seis áreas de cobertura del elemento de la antena.

La Figura 26 es una ilustración de un ejemplo de patrón de antena del relé en el cual todos los puntos dentro del área de cobertura del relé están contenidos, además, dentro de al menos cuatro áreas de cobertura del elemento de la antena.

La Figura 27 es una ilustración de un ejemplo de la distribución de los nodos de acceso (NA) y las áreas de cobertura del haz de usuario.

La Figura 28 es un gráfico ilustrativo de la capacidad del enlace directo y de retorno normalizada en función del número de NA desplegados.

La Figura 29 es un diagrama de bloques de un ejemplo de segmento terrestre 502 para un sistema de formación de haces de extremo a extremo.

La Figura 30 es un diagrama de bloques de un ejemplo de formación de haces directos/de retorno.

La Figura 31 es un diagrama de bloques de un ejemplo de un formador de haz directo que comprende formadores de haz de retorno múltiples de intervalo de tiempo con multiplexación y desmultiplexación de dominio de tiempo.

La Figura 32 es una ilustración de un ejemplo simplificado del segmento terrestre que muestra el funcionamiento de un formador de haz directo de intervalo de tiempo.

La Figura 33 es un diagrama de bloques de un ejemplo del formador de haz de retorno que comprende formadores de haz de retorno múltiples de intervalo de tiempo con multiplexación y desmultiplexación de dominio de tiempo.

La Figura 34 es una ilustración de un ejemplo simplificado de segmento terrestre que muestra el funcionamiento de un formador de haz de retorno que emplea multiplexación de dominio de tiempo.

La Figura 35 es un diagrama de bloques de un ejemplo de un formador de haz directo/de retorno multibanda que emplea una subbanda de multiplexación y desmultiplexación.

La Figura 36 y la Figura 37 son ilustraciones de ejemplo de alineación de temporización para el enlace directo.

La Figura 38 es un diagrama de bloques de un ejemplo de NA.

La Figura 39 es un diagrama de bloques de parte de un ejemplo de un NA.

La Figura 40 es un diagrama de bloques de un ejemplo de NA 515 en el cual múltiples subbandas de frecuencia se procesan por separado.

La Figura 41 es una ilustración de un ejemplo de un sistema formador de haz de extremo a extremo para permitir distintos enlaces de usuario y áreas de cobertura de enlaces de alimentador.

La Figura 42 es una ilustración de un ejemplo de modelo de trayectos de señal para las señales que transportan los datos de retorno en el enlace de retorno de extremo a extremo.

La Figura 43 es una ilustración de un ejemplo de modelo de los trayectos de señal para las señales que transportan datos directos en el enlace directo de extremo a extremo.

Las Figuras 44A y 44B son una ilustración de un ejemplo del trayecto de señal directa y del trayecto de señal de retorno, respectivamente.

La Figura 45 es una ilustración de un ejemplo de un área visible de cobertura de la Tierra del relé de extremo a extremo.

La Figura 46 es una ilustración de un ejemplo de un área de cobertura de América del Norte del relé de extremo a extremo.

Las Figuras 47A y 47B son diagramas de bloques de un ejemplo de trayecto de señal directa y de la señal de retorno, respectivamente, cada una que tiene activación selectiva de los subsistemas de la antena de enlace de usuario múltiples.

Las Figuras y 48A 48B son una ilustración de un ejemplo de un área de cobertura del relé de extremo a extremo que incluye áreas de cobertura del usuario múltiples activadas selectivamente.

La Figura 49 es un diagrama de bloques de un ejemplo del trayecto de señal directa que tiene la activación selectiva de los subsistemas de la antena de enlace de usuario múltiples y el subsistema de la antena del enlace de alimentador múltiple.

Los designadores de referencia (p. ej., 100) se usan en la presente para referirse a los aspectos de los dibujos. Los aspectos similares o parecidos se muestran normalmente mediante el uso de números parecidos. Un grupo de elementos similares o parecidos pueden mencionarse en conjunto por un solo designador de referencia (p. ej., 200), mientras que los elementos individuales del grupo pueden mencionarse por el designador de referencia con una letra adjunta (p. ej., 200a, 200b).

Las figuras no se destinan a ser exhaustivas o a limitar la invención reivindicada a la forma descrita precisa. El aparato y el método descritos pueden llevarse a la práctica con la modificación y alteración, y que la invención se limita solamente por las reivindicaciones y equivalentes de estas.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

Esta descripción detallada se organiza como sigue. Primero, se describe una introducción a los sistemas de comunicación de relé inalámbricos mediante el uso de comunicación por satélite y la formación de haces. Segundo, se describe la formación de haces de extremo a extremo generalmente y en el nivel del sistema mediante el uso de la formación de haces de extremo a extremo del satélite como un ejemplo, aunque la aplicación de la formación de haces de extremo a extremo no se limita a las comunicaciones por satélite. Tercero, se describe el funcionamiento de los datos directos y de retorno en el contexto de la formación de haces de extremo a extremo. Cuarto, se describen los relés de extremo a extremo y sus antenas mediante el uso de un satélite de comunicaciones como un ejemplo. A continuación, se describen las redes terrestres para formar los haces de extremo a extremo, que incluyen los aspectos relacionados, tales como la ecualización de retardo, la eliminación de degradación del enlace de alimentador y el cálculo de la ponderación del haz. Finalmente, se describe la formación de haces de extremo a extremo con las áreas de cobertura del enlace de usuario y el enlace de alimentador distintas, así como también los sistemas con múltiples áreas de cobertura.

Comunicación por satélite

La Figura 1 es una ilustración de un ejemplo de un concentrador y un sistema de comunicación por satélite de distribución radial 100. El satélite sirve como un ejemplo de un relé inalámbrico. Aunque muchos de los ejemplos que se describen a lo largo de esta descripción en el contexto de un satélite o un sistema de comunicación por satélite, tales ejemplos no se destinan a limitarse al satélite; cualquier otro relé inalámbrico adecuado puede usarse, y funciona de un modo similar. El sistema 100 comprende una estación terrestre de la Tierra 101, un satélite de comunicación 103, y una fuente de transmisión terrestre, tal como una terminal de usuario 105. Un área de cobertura satelital puede definirse ampliamente como aquella área de la cual, y/o a la cual, ya sea de una fuente de transmisión de la Tierra, o un receptor de la Tierra, tal como una estación terrestre de la Tierra o una terminal de usuario, puede comunicarse a través del satélite. En algunos sistemas, el área de cobertura para cada enlace (p. ej., el área de cobertura del enlace ascendente directo, el área de cobertura del enlace descendente directo, el área de cobertura del enlace ascendente de retorno, y el área de cobertura del enlace descendente de retorno) pueden ser diferentes. El área de cobertura del enlace ascendente directo y el área de cobertura del enlace ascendente de retorno se denominan en conjunto área de cobertura satelital del enlace ascendente. De manera similar, el área de cobertura del enlace descendente directo, y el área de cobertura del enlace descendente de retorno se denominan en conjunto área de cobertura satelital del enlace descendente. Mientras que el área de cobertura satelital es activa solamente para un satélite que está en servicio (p. ej., en una órbita de servicio), el satélite puede considerarse que tiene (p. ej., puede

diseñarse para tener) un patrón de la antena del satélite que es independiente de la ubicación relativa del satélite con respecto a la Tierra. Es decir, el patrón de la antena del satélite es un patrón de distribución de la energía transmitida de una antena de un satélite (ya sea transmitida de o recibida por la antena del satélite). El patrón de la antena del satélite ilumina (transmite a, o recibe de) un área de cobertura satelital particular, cuando el satélite está en una órbita de servicio. El área de cobertura satelital se define por el patrón de la antena del satélite, una posición orbital y actitud para la cual se diseña el satélite, y un umbral de ganancia de la antena dado. En general, la intersección de un patrón de la antena (en una ganancia de antena eficaz particular, por ejemplo, 3 dB, 4 dB, 6 dB 10 dB de ganancia pico) con una región física de interés particular (p. ej., un área sobre o cerca de la superficie de la Tierra) define el área de cobertura para la antena. Las antenas pueden diseñarse para proveer un patrón de la antena particular (y/o de área de cobertura) y tales patrones de la antena pueden determinarse computacionalmente (p. ej., por análisis o simulación) y/o medirse experimentalmente (p. ej., en un rango de prueba de la antena o en el uso real).

Mientras una terminal de usuario 105 se muestra en la figura por motivos de simplicidad, normalmente existen muchas terminales de usuario 105 en el sistema. El sistema de comunicación por satélite 100 funciona como un sistema de punto a multipunto. Es decir, la estación terrestre 101 dentro del área de cobertura satelital puede enviar información a, y recibir información desde, cualquiera de las terminales de usuario 105 dentro del área de cobertura satelital. Sin embargo, las terminales de usuario 105 solo se comunican con la estación terrestre 101. La estación terrestre 101 recibe los datos enviados desde una red de comunicación 107, modula los datos mediante el uso de un módem del enlace de alimentador 109 y transmite los datos al satélite 103 en un enlace ascendente de alimentación directo 111. El satélite 103 retransmite estos datos directos a las terminales de usuario 105 en el enlace descendente de usuario directo (algunas veces llamado enlace descendente de servicio directo) 113. En algunos casos, la comunicación de la dirección directa de la estación terrestre 101 se destina para varios de las terminales de usuario 105 (p. ej., la información se difunde a las terminales de usuario 105). En algunos casos, la comunicación directa desde la estación terrestre 101 se destina para una sola terminal de usuario 105 (p. ej., la difusión a una terminal de usuario particular 105). Las terminales de usuario 105 transmiten los datos de retorno al satélite 103 en un enlace ascendente de retorno de usuario (denominado algunas veces enlace ascendente de retorno de servicio) 115. El satélite 103 retransmite los datos de retorno a la estación terrestre 101 en un enlace descendente de retorno de alimentación 117. El módem del enlace de alimentador 109 demodula el dato de retorno, el cual se envía a la red de comunicación 107. Esta capacidad del enlace de retorno se comparte, generalmente, por un número de terminales de usuario 105.

La Figura 2 es un diagrama que muestra un ejemplo de una configuración de las áreas de cobertura del haz de un satélite para dar servicio a Estados Unidos continental. Se muestran

setenta haces en la configuración ilustrativa. Un primer haz 201 cubre aproximadamente dos tercios del estado de Washington. Un segundo haz 203 adyacente al primer haz 201 cubre un área inmediata 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 de aproximadamente al sudeste del primer haz 201. Normalmente, existe cierto grado de superposición entre los haces adyacentes. En algunos casos, se usa un multicolor (p. ej., patrón de reutilización de dos, tres o de cuatro colores). En un ejemplo de un patrón de cuatro colores, los haces 201, 203, 205, 207 se ubican individualmente en una combinación única de frecuencia (p. ej., un rango de frecuencias o rangos o uno o más canales) y/o la polarización de la antena (p. ej., en algunos casos una antena puede configurarse para transmitir señales con una polarización circular derecha (RHCP) o una polarización circular izquierda (LHCP); están disponibles otras técnicas de polarización). En consecuencia, puede existir relativamente poca interferencia mutua entre las señales transmitidas en diferentes haces 201, 203, 205, 207. Estas combinaciones de la frecuencia y de la polarización de la antena puede entonces reutilizarse en el patrón de repetición reutilizable de "cuatro colores" no superpuestos. En algunas situaciones, la capacidad de comunicación deseada puede lograrse mediante el uso de un solo color. En algunos casos, puede usarse el tiempo de distribución entre los haces y/u otras técnicas para mitigar la interferencia.

Dentro de algunos límites, enfocar los haces en pequeñas áreas e incrementar de esta manera el número de haces, incrementa la capacidad de los datos del satélite al permitir una mayor oportunidad de reutilización de la frecuencia. Sin embargo, incrementar el número de haces puede incrementar la complejidad del sistema, y en muchos casos, la complejidad del satélite.

La complejidad en el diseño de un satélite normalmente resulta en un tamaño mayor, más peso, y mayor consumo de energía. Los satélites son caros para lanzar a la órbita. El costo de lanzamiento de un satélite se determina en parte por el peso y el tamaño de los satélites. Además, existen límites absolutos en el peso y el tamaño de un satélite si el satélite se lanzará mediante el uso de la tecnología de cohetes disponibles actualmente. Esto conduce a las compensaciones entre las características que pueden diseñarse en un satélite. Además, se limita la cantidad de energía que puede proporcionarse a los componentes de un satélite. Por lo tanto, el peso, el tamaño, y el consumo de energía son parámetros tener en cuenta en el diseño de un satélite.

A lo largo de esta descripción, el término elemento de la antena de recepción se refiere a un transductor físico que convierte una señal electromagnética en una señal eléctrica y el término elemento de la antena de transmisión se refiere a un transductor físico que lanza una señal electromagnética cuando se excita por una señal eléctrica. El elemento de antena puede incluir una bocina, una bocina polarizada por septum (p. ej., que puede funcionar como dos elementos combinados

con diferentes polarizaciones), una bocina multibanda multipuerto (p. ej., banda doble 20 GHz/30 GHz con polarización doble LHCP/RHCP), una ranura con respaldo de cavidad, una F invertida, una guía de onda con ranuras, una Vivaldi, una Helicoidal, un lazo, un parche o cualquier otra configuración del elemento de la antena o combinación de los subelementos interconectados. Un elemento de la antena tiene un patrón de antena correspondiente, el cual describe cómo varía la ganancia de la antena en función de la dirección (o ángulo). Además, un elemento de la antena tiene un área de cobertura que corresponde a un área (p. ej., una porción de la superficie terrestre) o volumen (p. ej., una porción de la superficie terrestre más espacio aéreo por encima de la superficie) sobre la cual el elemento de la antena proporciona un nivel deseado de ganancia (p. ej., dentro de 3 dB, 6 dB, 10 dB u otro valor relativo a una ganancia de pico del elemento de la antena). El área de cobertura del elemento de la antena puede modificarse por varias estructuras tales como un reflector, una superficie selectiva de frecuencia, una lente, un radomo y lo similar. Algunos satélites, que incluyen aquellas descritas aquí, pueden tener varios transpondedores, cada uno capaz de recibir y transmitir las señales independientemente. Cada transpondedor se acopla a elementos de la antena (p. ej., un elemento de recepción y un elemento de transmisión) para formar un trayecto de señal de recepción/transmisión que tiene un patrón de radiación diferente (patrón de la antena) de los otros trayectos de señal de recepción/transmisión para crear haces únicos que pueden ubicarse en diferentes áreas de cobertura del haz. Es común que un solo trayecto de señal de recepción/transmisión se comparta a través de múltiples haces mediante el uso de multiplexores de entrada y/o salida. En ambos casos, el número de haces simultáneos que pueden formarse se limita, generalmente, por el número de trayectos de señales de recepción/transmisión que se despliegan en el satélite.

Formación de haces

La formación de haces para un enlace de comunicación puede ejecutarse al ajustar la fase de la señal (o el tiempo de retardo), y algunas veces la amplitud de la señal, de las señales transmitidas y/o recibidas por múltiples elementos de uno o más conjuntos de antenas con áreas de cobertura superpuestas. En algunos casos, algunos o todos los elementos de la antena se disponen como un arreglo de elementos integrados de recepción y/o transmisión que ayudan a activar la formación de haces de extremo a extremo, como se describe más abajo. Para las transmisiones (desde los elementos de transmisión de uno o más conjuntos de antena), se ajustan las fases relativas, y algunas veces las amplitudes, de las señales transmitidas, de manera que la energía transmitida por los elementos de la antena de transmisión se superpondrá de manera constructiva en la ubicación deseada. Este ajuste de fase/amplitud se conoce comúnmente como "aplicar ponderaciones de haz" a las señales transmitidas. Para la recepción (por los elementos de recepción de uno o más conjuntos de antena), se ajustan las fases relativas, y a veces las amplitudes, de las señales recibidas (es decir, se aplican ponderaciones de haz iguales o diferentes) de manera que la energía recibida de una ubicación deseada por los elementos de la antena de

recepción se superpondrá de manera constructiva en aquellos elementos de la antena de recepción. En algunos casos, el formador de haz calcula las ponderaciones de haz de los elementos de antena deseados. El término formación de haces puede referirse en algunos casos a la aplicación de las ponderaciones de haz. Los formadores de haz adaptables incluyen la función de calcular dinámicamente 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 la ponderación de haz y la aplicación de la ponderación de haz pueden ejecutarse en los mismos o en diferentes elementos del sistema.

Los haces de la antena pueden dirigirse, formarse selectivamente, y/o reconfigurarse de cualquier otra manera al aplicar diferentes ponderaciones de haz. Por ejemplo, el número de haces activos, el área de cobertura de los haces, el tamaño de los haces, la ganancia relativa de los haces, y otros parámetros pueden variarse con el tiempo. Tal versatilidad es deseable en ciertas situaciones. Las antenas de formación de haces pueden formar generalmente haces relativamente estrechos. Los haces estrechos pueden permitir a las señales transmitidas en un haz distinguirse de las señales transmitidas por otros haces (p. ej., para evitar la interferencia). En consecuencia, los haces estrechos pueden permitir reutilizar la frecuencia y la polarización en un mayor grado que cuando se forman haces más grandes. Por ejemplo, los haces que se forman estrechamente pueden servir dos áreas de cobertura discontinuas que no se superponen. Cada haz puede usar tanto una polarización derecha y una polarización izquierda. Una mayor reutilización puede incrementar la cantidad de datos transmitidos y/o recibidos.

Algunos satélites usan la formación de haces integrada (OBBF) para dirigir electrónicamente un arreglo de elementos de antena. La Figura 3 es una ilustración de un sistema de satélite 300 en el cual el satélite 302 tiene una capacidad de formación de haces integrada de elementos de fase de alimentación múltiple por haz (MFPB). En este ejemplo, las ponderaciones de haz se calculan en el centro de cálculo terrestre y después se transmiten al satélite o se almacenan previamente en el satélite para su aplicación (no se muestra). El enlace directo se muestra en la Figura 3, aunque esta arquitectura puede usarse para los enlaces directos, los enlaces de retorno, o los enlaces directo y los de retorno. La formación de haces puede emplearse sobre el enlace de usuario, el enlace alimentador, o ambos. El enlace directo es el trayecto de señal de una pluralidad de puertas de enlace (GW) 304 a una o más de una pluralidad de terminales de usuario dentro de una o más áreas de cobertura de haz puntual 306. El satélite 302 tiene un arreglo de la antena de recepción 307, un arreglo de la antena de transmisión 309, un convertidor descendente (D/C) y el módulo de ganancia 311, un formador de haz de recepción 313, y un formador de haz de transmisión 315. El satélite 302 puede formar haces tanto en el enlace de alimentador 308 como en el enlace de usuario 310. Cada uno de los L elementos del arreglo de recepción 307 recibe las K señales de los K GW 304. Para cada uno de

los haces del enlace de alimentador que se van a crear (p. ej., un haz por GW 304), se aplica una ponderación de haz diferente (p. ej., se hace un ajuste de fase/amplitud) por el formador de haz de recepción 313 para cada señal recibida por los L elementos del arreglo de la antena de recepción (del arreglo de la antena de recepción 307). En consecuencia, para los K haces que se forman mediante el uso de un arreglo de la antena de recepción 307 que tiene L elementos de la antena de recepción, se aplican diferentes vectores de ponderación de haz de longitud L a las L señales recibidas por los L elementos del arreglo de antena. El formador de haz de recepción 313 dentro del satélite 302 ajusta la fase/amplitud de las señales recibidas por los L elementos del arreglo de antena para crear K señales del haz de recepción. Cada uno de los K haces de recepción se enfocan para recibir una señal desde una GW 304. En consecuencia, el formador de haz de recepción 313 genera señales del haz de recepción al D/C y al módulo de ganancia 311. Una de estas señales del haz de recepción se forma para la señal recibida desde cada GW de transmisión 304.

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

En algunos casos, una importante capacidad de procesamiento puede ser necesaria dentro del satélite para controlar la fase y la ganancia de cada elemento de la antena que se usa para formar los haces. Tal intensidad de procesamiento incrementa la complejidad del satélite. En algunos casos, los satélites pueden funcionar con formación de haces terrestres (GBBF) para reducir la complejidad de los satélites mientras que aun proporcionan la ventaja de formar haces estrechos electrónicamente.

La Figura 4 es una ilustración de un ejemplo de un sistema de comunicación por satélite 400 que tiene GBBF directa. La GBBF se ejecuta en el enlace de usuario directo 317 a través de un arreglo de L elementos similar al descrito anteriormente. Las fases/amplitudes de las señales transmitidas en el enlace de usuario 317 se ponderan de tal manera que se forman los haces. El enlace de alimentador 319 usa un esquema de alimentación simple por haz (SFPB) en el cual cada elemento de la antena de transmisión y recepción de una antena 324 se dedica a un haz de enlace de alimentador.

Antes de la transmisión desde una GW o GW 304, para cada uno de los K haces de enlace de alimentador directos, un formador de haz de transmisión 321 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 las L ponderaciones y aplicarlos a las señales permite que

se formen haces directos en la tierra para el enlace descendente directo del usuario 317. En el enlace ascendente de alimentación 319, cada una de las L señales diferentes se multiplexa en una señal 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 la antena de recepción en la antena 324 en el enlace de alimentador 319. Un receptor FDM 325 en el satélite 327 recibe las señales de la antena 324. Un convertidor analógico a digital (A/D) 326 convierte las señales analógicas recibidas a señales digitales. Un procesador de canal digital 328 desmultiplexa las señales FDM, cada una de las cuales se ponderó apropiadamente por el formador de haz 321 para la transmisión a través de uno de los L elementos de un arreglo de elementos de la antena de transmisión de una antena de transmisión 329. El procesador de canal digital 328 envía las señales a un convertidor digital a analógico (D/A) 331 para convertirlo de vuelta a la forma analógica. Las salidas analógicas del D/A 331 se convierten y se amplifican por un convertidor ascendente (U/C) y una etapa de ganancia 330 y se transmiten por el elemento asociado de la antena de transmisión 329. Un proceso complementario ocurre a la inversa para los haces de retorno. Nótese que, en este tipo de sistema, el enlace de alimentador FDM requiere L veces más ancho de banda que los haces de usuario lo que lo hace poco práctico para sistemas con amplios anchos de banda de datos o sistemas que tienen un gran número de elementos L .

Sistemas de formación de haces de extremo a extremo

Los sistemas de formación de haces de extremo a extremo en la presente forman haces de extremo a extremo a través de un relé de extremo a extremo. Un sistema de formación de haces de extremo a extremo puede conectarse a las terminales de usuario con fuentes/sumideros de datos. En contraste con los sistemas de formación de haces descritos anteriormente, en un sistema de formación de haces de extremo a extremo, las ponderaciones de haz se calculan en un sistema de procesamiento central (CPS) y las ponderaciones de haz de extremo a extremo se aplican dentro de la red terrestre (en lugar de aplicarse en un satélite). Las señales dentro de los haces de extremo a extremo se transmiten y reciben en un arreglo de nodos de acceso (NA), los cuales pueden ser nodos de acceso satelital (NAS). Como se describió anteriormente, cualquier tipo adecuado de relés de extremo a extremo puede usarse en un sistema de formación de haces de extremo a extremo, y los diferentes tipos de NA pueden usarse para comunicarse con diferentes tipos de relés de extremo a extremo. El término "central" se refiere al hecho de que el CPS es accesible para los NA que se involucran en la transmisión y/o recepción de la señal, y no se refiere a una ubicación geográfica en la cual reside el CPS. Un formador de haz dentro de un CPS calcula un conjunto de ponderaciones de haz de extremo a extremo que tiene en cuenta: (1) los trayectos del enlace ascendente de la señal inalámbrica hasta el relé de extremo a extremo; (2) los trayectos de la señal de recepción/transmisión a través del relé de extremo a extremo; y (3) los trayectos del enlace descendente de la señal inalámbrica bajan desde el relé de

extremo a extremo. Las ponderaciones de haz pueden representarse matemáticamente como una matriz. Como se mencionó anteriormente, los sistemas de satélite OBBF y GBBF tienen dimensiones de vector de ponderación de haz establecidas por el número de elementos de la antena en el satélite. En contraste, los vectores de ponderación de haz de extremo a extremo tienen dimensiones establecidas por el número de NA, no por el número de elementos en el relé de extremo a extremo. En general, el número de NA no es igual a la cantidad de elementos de la antena en la transmisión de extremo a extremo. Además, los haces formados de extremo a extremo no terminan en cualquier elemento de la antena de recepción o transmisión del relé de extremo a extremo. Más bien, los haces formados de extremo a extremo se retransmiten eficazmente, debido a que los haces de extremo a extremo tienen trayectos de señal de enlace ascendentes, trayectos de señal de relé (vía satélite u otro relé de extremo a extremo apropiado), y trayectos de señal descendentes.

Debido a que la formación de haces de extremo a extremo toma en cuenta tanto el enlace de usuario como el enlace de alimentador (así como también el relé de extremo a extremo) únicamente un solo conjunto de ponderaciones de haz se necesita para formar los haces de usuario de extremo a extremo deseados en una dirección particular (p. ej., los haces directos de usuario o los haces de usuario de retorno). Por lo tanto, un conjunto de ponderaciones de haz directo de extremo a extremo con (de aquí en adelante denominado simplemente como ponderaciones de haz directo) resulta en las señales transmitidas desde los AN, a través del enlace ascendente directo, a través del relé de extremo a extremo, y a través del enlace descendente directo que se combinan para formar los haces directos de usuario de extremo a extremo (en lo adelante denominado como haces directos de usuario). Por el contrario, las señales transmitidas desde los usuarios de retorno a través del enlace ascendente de retorno, a través del relé de extremo a extremo, y el enlace descendente de retorno tiene ponderaciones de haz de retorno de extremo a extremo (en lo adelante, denominado como ponderaciones de haz de retorno) aplicadas para formar los haces de usuario de retorno de extremo a extremo (en lo adelante denominados como 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. En consecuencia, los haces del enlace de alimentador formados, la directividad del haz de usuario formada, el enlace ascendente individual y el portador de enlace descendente a tasa de interferencia (C/I) ya no podrá tener su rol tradicional en el diseño del sistema, mientras los conceptos de proporción de señal a ruido (E_s/N_0) del enlace ascendente y enlace descendente y el C/I de extremo a extremo aún pueden ser relevantes.

La Figura 5 es una ilustración de un ejemplo de la formación de haces de extremo a extremo 500. El sistema 500 incluye: un segmento terrestre 502; un relé de extremo a extremo

503; y una pluralidad de terminales de usuario 517. El segmento terrestre 502 comprende las *M* NA 515, propagadas geográficamente sobre un área de cobertura de NA. Los NA 515 y las terminales de usuario 517, pueden mencionarse en conjunto como receptores terrestres, transmisores terrestres o transceptores terrestres, en dependencia de la funcionalidad particular en discusión, debido a que se ubican en, o cerca de, la Tierra y ambos transmiten y reciben señales. En algunos casos, las terminales de usuario 517 y/o los NA 515 pueden ubicarse en embarcaciones aéreas, embarcaciones marítimas o montarse en embarcaciones terrestres, etcétera. En algunos casos, las terminales de usuario 517 pueden distribuirse geográficamente. Los NA 515 pueden distribuirse geográficamente. Los NA 515 proporcionan señales a través de una red de distribución de 518 hasta un CPS 505 dentro de un segmento terrestre 502. El CPS 505 se conecta a la fuente de datos (no se muestra), tal como, por ejemplo, la Internet, un video de cabecera u otro tipo de entidad.

Las terminales de usuario 517 pueden agruparse con otras terminales de usuario 517 cercanas (p. ej., como se ilustra por medio de las terminales de usuario 517a y 517b). En algunos casos, estos grupos de terminales de usuario 517 se sirven por el mismo haz de usuario y, por lo tanto, residen dentro de la misma área de cobertura geográfica 519 del haz de usuario de directo y/o de retorno. Una terminal de usuario 517 está dentro de un haz de usuario si la terminal de usuario 517 está dentro del área de cobertura servida por ese haz de usuario. Aunque solamente una de tales áreas de cobertura del haz de usuario 519 se muestra en la Figura 5 con más de una terminal de usuario 517, en algunos casos, un área de cobertura del haz de usuario 519 puede tener cualquier número adecuado de las terminales de usuario 517. Además, la ilustración de la Figura 5 no pretende indicar el tamaño relativo de las diferentes áreas de cobertura del haz de usuario 519. Es decir, las áreas de cobertura del haz de usuario 519 pueden ser de aproximadamente el mismo tamaño. Alternativamente, las áreas de cobertura del haz de usuario 519 pueden ser de varios tamaños, con algunas áreas de cobertura del haz de usuario 519 mucho mayor que otras. En algunos casos, el número de NA 515 no es igual a la cantidad de áreas de cobertura del haz usuario 519.

El relé de extremo a extremo 503 retransmite señales de forma inalámbrica entre las terminales de usuario 517 y un número de nodos de acceso a la red, tales como los NA 515 que se muestran en la Figura 5. El relé de extremo a extremo 503 tiene una pluralidad de trayectos de señal. Por ejemplo, cada trayecto de señal puede incluir al menos un elemento de la antena de recepción, al menos un elemento de la antena de transmisión, y al menos un transpondedor (como se describe detalladamente más abajo). En algunos casos, la pluralidad de elementos de la antena de recepción se dispone para recibir señales reflejadas por un reflector de recepción para formar un conjunto de la antena de recepción. En algunos casos, la pluralidad de elementos de la antena de

transmisión se dispone para transmitir señales y, por lo tanto, para formar un conjunto de la antena de transmisión.

En algunos casos, el relé de extremo a extremo 503 se proporciona en un satélite. En otros casos, el relé de extremo a extremo 503 se proporciona en una embarcación aérea, un dirigible, una torre, una estructura autenticación o cualquier otra estructura adecuada o vehículo en el cual puede residir un relé de extremo a extremo 503. En algunos casos, el sistema usa diferentes rangos de frecuencia (en la misma o en diferentes bandas de frecuencia) para los enlaces ascendentes y enlaces descendentes. En algunos casos, los enlaces de alimentador y los enlaces de usuario están en diferentes rangos de frecuencia. En algunos casos, el relé de extremo a extremo 503 actúa como un reflector pasivo o activo.

Como se describe en la presente, varias características del relé de extremo a extremo 503 permiten la formación de haces de extremo a extremo. Una característica es que el relé de extremo a extremo 503 incluye múltiples transpondedores que, en el contexto de los sistemas de formación de haces de extremo a extremo, inducen trayectos múltiples entre los NA 515 y las terminales de usuario 517. Otra característica es que las antenas (p. ej., uno o más subsistemas de antena) del relé de extremo a extremo 503 contribuyen a la formación de haces de extremo a extremo, de manera que se forman haces directos de usuario y/o de retorno cuando las señales debidamente ponderadas por haz se comunican a través del trayecto múltiple inducida por el relé de extremo a extremo 503. Por ejemplo, durante las comunicaciones directas, cada uno de los transpondedores múltiples recibe un compuesto superpuesto respectivo de (ponderados por haz) señales de enlace ascendentes directas 521 desde múltiples (p. ej., todas) NA 515 (mencionadas en la presente descripción como señales directas de entrada compuesta), y los transpondedores generan las señales compuestas correspondientes (mencionadas en la presente descripción 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 ponderado por haz, las cuales, cuando se transmiten por los elementos de antena de transmisión del relé de extremo a extremo 503, se superponen para formar los haces de usuario 519 en las ubicaciones deseadas (p. ej., ubicaciones de recuperación dentro de los haces directos de usuario, en este caso). La formación de haces de retorno de extremo a extremo se permite de forma similar. Por lo tanto, el relé de extremo a extremo 503 puede causar múltiples superposiciones que se producen, permitiendo de esta manera la formación de haces de extremo a extremo sobre canales inducidos por trayectos múltiples.

Datos de retorno

La Figura 6 es una ilustración de un ejemplo de modelo de trayectos de señal para las señales que transportan los datos de retorno en el enlace de retorno de extremo a extremo. El dato de retorno es el dato que fluye desde las terminales de usuario 517 hasta los NA 515. En la Figura 6, las señales fluyen de derecha a izquierda. Las señales se originan con las terminales de

usuario 517. Las terminales de usuario 517 transmiten las señales de enlace ascendente 525 (las cuales tienen flujos de datos de usuario de retorno) hasta el relé de extremo a extremo 503. Las señales de enlace ascendente de retorno 525 se reciben desde las terminales de usuario 517 en las K áreas de cobertura 519 del haz de usuario por un arreglo de L trayectos de señal de recepción/transmisión 1702. En algunos casos, un área de cobertura de enlace ascendente para relé de extremo a extremo 503 se define por ese conjunto de puntos desde los cuales todos los L elementos de la antena de recepción 406 pueden recibir señales. En otros casos, el área de cobertura del relé se define por ese conjunto de puntos desde los cuales un subconjunto (p. ej., el número deseado más de 1, pero menos que todos) de los L elementos de la antena de recepción 406 pueden recibir señales. De manera similar, en algunos casos, el área de cobertura del enlace descendente se define por el conjunto de puntos al cual todos los L elementos de la antena de transmisión 409 puede enviar señales de forma confiable. En otros casos, el área de cobertura del enlace descendente para el relé de extremo a extremo 503 se define como ese conjunto de puntos al cual un subconjunto de los elementos de antena de recepción 409 puede enviar señales de forma confiable. En algunos casos, el tamaño de los subconjuntos ya sea de los elementos de antena de recepción 406 o de los elementos de antena de transmisión 409 es al menos cuatro. En otros casos, el tamaño de los subconjuntos es 6, 10, 20, 100, o cualquier otro número que proporcione el rendimiento del sistema deseado.

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

de los elementos de la antena de recepción 406. En algunos casos, el subconjunto incluye al menos 10 elementos de la antena de recepción 406.

De manera similar, en el lado de la transmisión, un subconjunto de los L elementos de la antena de transmisión 409 transmite una señal de enlace descendente a un receptor terrestre (p. ej., una señal de enlace descendente de retorno 527 a un NA 515, o a una señal de enlace descendente directo 522 a una terminal de usuario 517), de tal manera que la subconjunto de elementos de la antena de transmisión 409 transmite la señal de enlace descendente al receptor con un nivel de señal recibida que está cercana a un nivel de señal máximo transmitido de la señal de enlace descendente (p. ej., sustancialmente no menor que el nivel de la señal que corresponde a la señal de enlace descendente que tiene el mayor nivel de señal recibida); otros de los L elementos de la antena de transmisión 409 que no se encuentran en el subconjunto transmiten la señal de enlace descendente de tal manera que se recibe en un nivel más bajo apreciable (p. ej., muy por debajo del nivel máximo de la señal de enlace descendente transmitida). En algunos casos, el nivel de la señal está dentro de 3 dB de un nivel de señal que corresponde a una ganancia pico del elemento de la antena de transmisión 409. En otros casos, el nivel de la señal está dentro de 6 dB de nivel de la señal que corresponde a una ganancia pico del elemento de la antena de transmisión 409. En otros casos, el nivel de la señal está dentro de 10 dB de nivel de la señal que corresponde a una ganancia pico del elemento de la antena de transmisión 409.

En algunos casos, la señal recibida por cada elemento de la antena de transmisión 406 se origina en la misma fuente (p. ej., una de las terminales de usuario 517) debido a la superposición en el patrón de la antena de recepción de cada elemento de la antena de recepción. Sin embargo, en algunos casos, pueden existir puntos dentro del área de cobertura del relé de extremo a extremo en la cual se ubica una terminal de usuario y desde la cual no todos los elementos de la antena de recepción pueden recibir la señal. En algunos casos, puede existir un número significativo de elementos de la antena de recepción que no (o no pueden recibir) reciben la señal desde las terminales de usuario que están dentro del área de cobertura del relé extremo a extremo. Sin embargo, como se describe en la presente descripción, inducir la trayectoria múltiple por el relé de extremo a extremo relé 503 puede depender de la recepción de la señal por al menos dos elementos.

Como se muestra en la Figura 6 y se describe con más detalle más abajo, en algunos casos, un trayecto de señal de recepción/transmisión 1702 comprende un elemento de la antena de recepción 406, un transpondedor 410, y un elemento de la antena de transmisión 409. En tales casos, las señales de enlace ascendente de retorno 525 se reciben por cada uno de una pluralidad de transpondedores 410 a través del elemento de la antena de recepción respectivo 406. La emisión de cada trayecto de señal de recepción/transmisión 1702 es una señal de enlace descendente de retorno 527 que corresponde a un compuesto respectivo de señales de enlace ascendente de retorno recibidas.

La señal de enlace descendente de retorno se crea por el trayecto de señal de transmisión/recepción 1702. La señal de enlace descendente de retorno 527 se transmite al arreglo de M NA 515. En algunos casos, los NA 515 se colocan en ubicaciones distribuidas geográficamente (p. ej., ubicaciones de recepción o de recuperación) sobre el área de cobertura del relé de extremo a extremo. En algunos casos, cada uno de los transpondedores 410 se acopla uno de los elementos respectivos de la antena de recepción 406 con uno de los elementos respectivos de la antena de transmisión 409. En consecuencia, existen L diferentes maneras para obtener una señal desde una terminal de usuario 517 ubicado en un área de cobertura de haz de usuario 519 hasta un NA particular 515. Esto crea L trayectos entre una terminal de usuario 515 y un NA 517. Los L trayectos entre una terminal de usuario 517 y un NA 515 se denominan en colectivo canal de trayectos múltiples de retorno de extremo a extremo 1908 (ver la Figura 8). En consecuencia, la recepción de la señal de enlace ascendente de retorno 525 desde una ubicación de transmisión dentro de un área de cobertura del haz de usuario 519, a través de los L transpondedores 410, crea L señales de enlace descendente de retorno 527, en donde cada una se transmite desde uno de los transpondedores 410 (es decir, a través de los trayectos de comunicación colocadas). Cada canal de trayectos múltiples de retorno de extremo a extremo 1908 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 el matriz de radiación de enlace descendente $\mathbf{C}_t$. Debe mencionarse que, debido a los patrones de cobertura del elemento de la antena, en algunos casos, algunos de los L trayectos pueden tener relativamente poca energía (p. ej., 6 dB, 10 dB, 20 dB, 30 dB, o cualquier otra relación de energía menor que otros trayectos). Una superposición 1706 de las señales de enlace descendente de retorno 527 se recibe en cada uno de los NA 515 (p. ej., en las ubicaciones de recepción o de recuperación distribuidas geográficamente M). Cada señal de enlace descendente de retorno 527 comprende una superposición de una pluralidad de las señales de enlace descendente de retorno transmitidas 527, lo que resulta en una señal de retorno compuesta respectiva. Las señales de retorno compuestas se acoplan al formador de haz de retorno 531 (ver las Figuras 29 y 5).

La Figura 7 ilustra un ejemplo de enlace de retorno de extremo a extremo 523 de una terminal de usuario 517 se ubica dentro de un área de cobertura del haz 519 hasta los NA 515. La señal de enlace ascendente de retorno 525 transmitida desde la terminal de usuario 517 se recibe por el arreglo de L elementos de la antena de recepción 406 en el relé de extremo a extremo 503 (p. ej., o se recibe por un subconjunto de los L elementos de la antena de recepción 406).

$\mathbf{A}_r$ es la matriz de radiación de enlace ascendente de retorno $L \times K$. Los valores de la matriz de radiación de enlace ascendente de retorno modelan el trayecto de señal desde una ubicación de referencia en el área de cobertura del haz de usuario 519 hasta los elementos de la antena de recepción del relé de extremo a extremo 406. 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 la fase del trayecto) desde una

ubicación de referencia en la 1.º área de cobertura del haz de usuario 519 hasta el $L^{\text{ésimo}}$ elemento de la antena de recepción. En algunos casos, todos los valores en la matriz de radiación de enlace ascendente de retorno **Ar** puede no ser cero (p. ej., existe un trayecto de señal significativa desde la ubicación de referencia hasta cada uno de los elementos de antena de recepción del conjunto de antena de recepción).

E (dimensión $L \times L$) es la matriz de carga útil y proporciona el modelo (amplitud y fase) de los trayectos desde los elementos de la antena de recepción 406 hasta los elementos de la antena de transmisión 409. Una "carga útil" del relé de extremo a extremo 503, como se usa en la presente descripción, incluye generalmente el conjunto de componentes del relé de extremo a extremo 503 que afectan, y/o que se afectan por, las comunicaciones de señal según se reciben por, se retransmiten a través de, y se transmiten desde el relé de extremo a extremo 503. Por ejemplo, una carga útil del relé de extremo a extremo puede incluir elementos de la antena, reflectores, transpondedores, etcétera; pero el relé de extremo a extremo puede incluir además baterías, células solares, sensores, y/u otros componentes no considerados en la presente como parte de la carga útil (debido a que no afectan a las señales cuando se opera normalmente). La consideración del conjunto de los componentes como una carga útil puede permitir modelar matemáticamente el impacto total del relé de extremo a extremo como una sola matriz de carga útil **E**. La trayectoria predominante desde cada elemento de la antena de recepción 406 a cada elemento de la antena de transmisión 409 correspondiente se modela por el valor que permanece en la diagonal de la matriz de carga útil **E**. Suponiendo que no existe señal de diafonía entre los trayectos de señales de recepción/transmisión, los valores fuera de la diagonal de la matriz de la carga útil son cero. En algunos casos, la diafonía puede no ser cero. Aislar los trayectos de señal entre sí minimizará la diafonía. En algunos casos, debido a que la diafonía es insignificante, la matriz de carga útil **E** puede estimarse por una matriz diagonal. En algunos casos, los valores fuera de la diagonal (o cualquier otro valor adecuado) de la matriz de carga útil puede tratarse como cero, incluso en donde existe alguna señal de impacto que corresponde a esos valores, para reducir la complejidad matemática, y/o por otras razones.

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 modelan los trayectos de la señal desde los elementos de la antena de transmisión 409 hasta los NA 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 del trayecto) desde el segundo elemento de la antena de transmisión 409_b hasta el tercer NA 515_c. En algunos casos, la totalidad de los valores de la matriz de radiación de enlace descendente **Ct** puede no ser 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 los elementos de la antena de

transmisión correspondientes 409 del arreglo de antena de transmisión es tal que el elemento de la antena de transmisión 409 no transmite señales útiles para algunos de los NA 515).

Como puede observarse en la Figura 7, el canal de trayectos múltiples de retorno de extremo a extremo desde una terminal de usuario 517 en un área de cobertura del haz de un usuario particular 519 hasta un NA 515 particular es la suma de los L trayectos diferentes. El canal de trayectos múltiples de retorno de extremo a extremo tiene trayectos múltiples inducidas por los L trayectos únicos a través del transpondedor 410 en el relé de extremo a extremo. Al igual que con muchos canales de trayectos múltiples, las amplitudes y las fases de los trayectos pueden acumularse favorablemente (constructivamente) para producir una gran ganancia de canal extremo a extremo o desfavorablemente (destruktiva) para producir una baja ganancia de canal de extremo a extremo. Cuando el número de diferentes trayectos, L , entre una terminal de usuario y un NA es grande, la ganancia de canal de extremo a extremo puede tener una distribución Rayleigh de la amplitud. Con esa distribución, no es común ver algunas ganancias de canal de extremo a extremo desde una determinada terminal de usuario 517 a un NA particular 515 que son 20 dB o más por debajo del nivel promedio de ganancia de canal desde una terminal de usuario 517 hasta un NA 515. Este sistema de formación de haces de extremo a extremo induce intencionalmente un entorno de trayectos múltiples para la trayectoria de extremo a extremo desde cualquier terminal de usuario hasta cualquier NA.

La Figura 8 es una ilustración simplificada de un ejemplo de modelo de todos los canales de trayectos múltiples de retorno de extremo a extremo de retorno desde las áreas de cobertura del haz de usuario 519 hasta los NA 515. Existen tales canales de trayectos múltiples de retorno de extremo a extremo $M \times K$ en el enlace de retorno de extremo a extremo (es decir, M de cada una de las K áreas de cobertura del haz de usuario 519). Los canales 1908 conectan las terminales de usuario en un área de cobertura del haz de usuario 519 a un NA 515 sobre las L diferentes trayectos de señal de recepción/transmisión 1702, cada trayectoria de acceso que pasa a través de cada una de las L diferentes trayectos de señal de recepción/transmisión (y los transpondedores asociados) del relé. Mientras este efecto se denomina "trayectoria múltiple" en la presente descripción, esta trayectoria múltiple difiere del trayecto múltiple convencional (p. ej., en un sistema de radio móvil o de entrada múltiple salida múltiple (MIMO)), como los trayectos múltiples en la presente se inducen intencionalmente (y, como se describe en la presente, se afectan) por los trayectos de señales de transmisión/recepción. Cada uno de los canales de trayectos múltiples de retorno de extremo a extremo $M \times K$ que se originan desde una terminal de usuario 517 usuario determinado dentro de un área de cobertura del haz de usuario particular 519 puede modelarse por un canal de trayectoria múltiple de retorno de extremo a extremo. Cada canal de trayectos múltiples de retorno de extremo a extremo está desde una ubicación de referencia (o recuperación) dentro del área de cobertura del haz de usuario 519 hasta uno de los NA 515.

Cada uno de los canales de trayectos múltiples de retorno de extremo a extremo $M \times K$ 1908 pueden modelarse 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, cada uno que tiene una dimensionalidad igual a M , de manera que cada vector modela las ganancias de canal de retorno de extremo a extremo para comunicaciones de múltiples trayectos entre una ubicación de referencia en una de las K áreas de cobertura del haz de usuario respectivas y los M NA 515. Cada uno de los canales de trayectos múltiples de retorno de extremo a extremo se acopla a uno de los M NA 515 con una ubicación de referencia dentro de uno de los K haces de usuario de retorno a través de los L transpondedores 410 (ver la Figura 7). En algunos casos, solo se usa un subconjunto de los L transpondedores 410 en el relé de extremo a extremo 503 para crear el canal de trayectos múltiples del relé de extremo a extremo (p. ej., solo se considera que un subconjunto está en el trayecto de señal al contribuir energía significativa para el canal de trayectos múltiples de retorno de extremo a extremo). En algunos casos, el número de haces de usuario K es mayor que el número de transpondedores L que está en el trayecto de señal del canal de trayectos múltiples de retorno de extremo a extremo. Además, en algunos casos, el número de AN, M , es mayor que el número de transpondedores L que está en el trayecto de señal del canal de trayectos múltiples de retorno de extremo a extremo 1908. En un ejemplo, el elemento **Hret**_{4,2} de la matriz de canal de retorno **Hret** se asocia con el canal desde una ubicación de referencia en la segunda área de cobertura del haz de usuario 1903 hasta el cuarto NA 1901. La matriz **Hret** modela el canal de extremo a extremo como el producto de las matrices **Ct** $\times$ **E** $\times$ **Ar** (ver la Figura 6). Cada elemento en **Hret** modela la ganancia de extremo a extremo de un canal de trayectos múltiples de retorno de extremo a extremo 1908. Debido a la naturaleza de trayectoria múltiple del canal, el canal puede sujetarse a un desvanecimiento profundo. Pueden formarse haces de usuario de retorno por el CPS 505. El CPS 505 calcula las ponderaciones del haz de retorno basado en el modelo de estos trayectos de señal $M \times K$ y forma los haces de usuario de retorno al aplicar las ponderaciones del haz de retorno a la pluralidad de señales de retorno compuestas, calculándose cada ponderación para cada canal de trayectos múltiples retorno de extremo a extremo que acopla las terminales de usuario 517 en un área de cobertura del haz de usuario con uno de la pluralidad de los NA 515. En algunos casos, las ponderaciones del haz de retorno se calculan antes de recibir la señal de retorno compuesta. Existe un enlace de retorno de extremo a extremo desde cada una de las K áreas de cobertura del haz de usuario 519 hasta los M NA 515. La ponderación (es decir, la fase/amplitud relativa compleja) de cada una de las señales recibidas por los M NA 515 permite que esas señales se combinen para formar un haz de usuario de retorno mediante el uso de la capacidad de formación de haces del CPS 505 dentro del segmento terrestre 502. El cálculo de la matriz de ponderación de haz se usa para determinar cómo ponderar cada canal de trayectos múltiples de retorno de extremo a extremo 1908, para formar la pluralidad de haces de usuario de retorno,

como se describe con más detalle más abajo. Los haces de usuario no se forman al ajustar directamente la fase y la amplitud relativas de las señales transmitidas por un elemento de la antena del relé de extremo a extremo con respecto a la fase y amplitud de las señales transmitidas por los otros elementos de la antena del relé de extremo a extremo. Más bien, los haces de usuario se forman al aplicar las ponderaciones asociadas con la matriz de canal $M \times K$ a las M señales NA. Es la pluralidad de NA que proporciona la diversidad de trayectos de recepción, un único transmisor (terminal de usuario) para múltiples receptores (NA), para permitir la transmisión satisfactoria de información desde cualquier terminal de usuario en presencia del canal de trayectos múltiples inducido intencionalmente.

Datos directos

La Figura 9 es una ilustración de un ejemplo de modelo de trayectos de señales para las señales que transportan datos en el enlace directo de extremo a extremo 501. Los datos directos son los datos que fluyen desde los NA 515 hasta las terminales de usuario 517. Las señales en esta figura fluyen de derecha a izquierda. Las señales se originan con los M NA 515, que se ubican en la huella del relé 503 de extremo a extremo. Existen K áreas de cobertura del haz de usuario 519. Las señales de cada NA 515 se retransmiten por los L trayectos de las señales de recepción/transmisión 2001.

Las señales de recepción/transmisión 2001 transmiten una señal retransmitida a las terminales de usuario 517 en las áreas de cobertura del haz de usuario 519. En consecuencia, pueden existir L diferentes maneras para obtener una señal desde un NA 515 particular para una terminal de usuario 517 ubicado en un área de cobertura del haz de usuario 519. Esto crea L trayectos entre cada NA 515 y cada terminal de usuario 517. Debe mencionarse que, debido a los patrones de cobertura del elemento de la antena, algunos de las L trayectos puede tener menos energía que otros trayectos.

La Figura 10 ilustra un ejemplo de enlace directo de extremo a extremo 501 que se acopla a una pluralidad de nodos de acceso en ubicaciones distribuidas geográficamente con una terminal de usuario 517 en un haz de usuario (p. ej., ubicado en una ubicación de recuperación dentro de un área de cobertura del haz de usuario 519) a través de un relé de extremo a extremo 503. En algunos casos, la señal de datos directos se recibe en un formador de haz antes de generar las señales de enlace ascendente directo. Una pluralidad de señales de enlace ascendente directo se genera en el formador de haz y se comunica con la pluralidad de NA 515. Por ejemplo, cada NA 515 recibe una única (haz ponderado) señal de enlace ascendente generada de acuerdo con las ponderaciones de haz correspondientes a ese NA 515. Cada NA 515 tiene una salida que transmite una señal de enlace ascendente a través de uno de los enlaces ascendentes M . Cada señal de enlace ascendente comprende una señal de datos directos asociada con el haz directo de usuario. La señal de datos directos se "asocia con" el haz señal de

enlace ascendente comprende una señal de datos directos asociada con el haz directo de usuario, debido a que se destina a recibirse por las terminales de usuario 517 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 por división de tiempo o por multiplexación por división de frecuencia, etcétera. En algunos casos, cada flujo de datos de usuario es para la transmisión a una o más de una pluralidad de terminales de usuario dentro del mismo haz de usuario.

Como se explica con mayor detalle más abajo, cada señal de enlace ascendente directo se transmite de una manera sincronizada en el tiempo por su NA 515 de transmisión respectivo. Las señales 521 de enlace ascendente directo transmitidas desde el NA 515 se reciben por una pluralidad de transpondedores 410 en el relé de extremo a extremo 503 a través de los elementos de antena de recepción 406 en el relé de extremo a extremo 503. La superposición 550 de las señales de enlace ascendente directo 521 recibidas desde ubicaciones distribuidas geográficamente crea una señal directa de entrada compuesta 545. Cada transpondedor 410 recibe al mismo tiempo una señal directa de entrada compuesta 545. Sin embargo, cada transpondedor 410 recibirá las señales con la temporización ligeramente diferente debido a las diferencias en la ubicación del elemento de la antena de recepción 406 asociadas con cada transpondedor 401.

C_r es la matriz de radiación de enlace ascendente directo $L \times M$. Los valores de la matriz de radiación de enlace ascendente directo modelan el trayecto de señal (amplitud y fase) desde los NA 515 hasta los elementos de la antena de recepción 406. **E** es la matriz de carga útil $L \times L$ y proporciona el modelo de los trayectos de la señal del transpondedor desde los elementos de la antena de recepción 406 hasta los elementos de la antena de transmisión 409. La ganancia del trayecto directa desde cada elemento de la antena de recepción 406 a través de uno de una pluralidad de transpondedores correspondiente hasta cada elemento de la antena correspondiente 409 se modela por los valores diagonales de la matriz de carga útil. Como se observó anteriormente en relación con el enlace de retorno, suponiendo que existe diafonía entre los elementos de antena, los elementos fuera de la diagonal de la matriz de la carga útil son cero. En algunos casos, la diafonía puede no ser cero. Aislar los trayectos de señal entre sí minimizará la diafonía. En este ejemplo, cada uno de los transpondedores 410 se acopla con uno de los elementos de la antena de recepción 406 respectivos con uno de los elementos de la antena de transmisión 409. En consecuencia, la señal de enlace descendente 522 generada desde cada uno de los transpondedores 410 se transmite por cada una de la pluralidad de transpondedores 410 (ver la Figura 9) a través de los elementos de la antena de transmisión 409, de tal manera que las señales de enlace descendente directo 522 forman un haz directo de usuario (al superponer de forma constructiva y destructiva en ubicaciones geográficas de recuperación deseadas para formar el haz). En algunos casos, una pluralidad de haces de usuario se

forma, cada una de ellas que corresponde a un área de cobertura geográfica de haz de usuario 519 que sirve un conjunto de terminales de usuario 517 respectivo dentro del área de cobertura del haz de usuario 519. La trayectoria desde el primer elemento de la antena de transmisión (ver la Figura 10) 409a hasta una ubicación de referencia (o de recuperación) en la primera área de cobertura del haz de usuario 519 se suministra en el valor $\mathbf{At}_{11}$ de la matriz de radiación de enlace descendente directo. Como se mencionó con respecto al enlace de retorno, este sistema de formación de haces de extremo a extremo induce intencionalmente un entorno de trayectos múltiples de extremo a extremo desde cualquier NA 515 hasta cualquier terminal de usuario 517. En algunos casos, un subconjunto de los elementos de la antena de transmisión 409 transmite señales de enlace descendente directo 522 con energía significativa hasta una terminal de usuario 517. La terminal de usuario 517 (o, más generalmente, una ubicación de referencia o de recuperación en el área de cobertura del usuario 519 para la recepción y/o recuperación) recibe la pluralidad de señales de enlace descendente directo 522 recupera, al menos una porción de la señal de datos directa de la pluralidad de señales de enlace descendente directo recibidas 522. Las señales de enlace descendente directo 522 transmitidas pueden recibirse por la terminal de usuario 517 en un nivel de señal que está dentro de 10 dB de un nivel de señal máximo desde cualquiera de las otras señales transmitidas por los elementos de la antena de transmisión de 409 dentro del subconjunto. En algunos casos, la submatriz de elementos de la antena de transmisión incluye al menos el 10 % de la pluralidad de elementos de antena de transmisión presentes en el relé de extremo a extremo 503. En algunos casos, los subconjuntos de elementos de la antena de transmisión incluyen al menos 10 elementos de la antena de transmisión, independientemente de que muchos de los elementos de la antena de transmisión 409 están presentes en el relé de extremo a extremo 503. En un caso, la recepción de la pluralidad de señales de enlace descendente directo comprende la recepción de una superposición 551 de la pluralidad de señales de enlace descendente directo.

La Figura 11 es una ilustración simplificada de un modelo de todos los canales de trayectos múltiples directos de extremo a extremo 2208 desde los M NA 515 hasta las K de cobertura del haz de usuario 519. Como se muestra en la Figura 11, existe un canal de trayectos múltiple directo de extremo a extremo 2208 que acopla cada NA 515 con cada área de cobertura del haz de usuario 519. Cada canal 2208 de un NA 515 hasta un área de cobertura del haz del usuario 519 tiene trayectos múltiples inducidos como un resultado de los L trayectos únicos desde el NA 515 a través de la pluralidad de transpondedores hasta el área de cobertura del haz de usuario 519. Como tal, los canales de trayectos múltiples $K \times M$ 2208 pueden modelarse individualmente y el modelo de cada uno sirve como un elemento de una matriz del canal directo $K \times M$ $\mathbf{Hfwd}$. La matriz del canal directo $\mathbf{Hfwd}$ tiene M vectores, cada uno que tiene una dimensionalidad igual a K , de manera que cada vector modela las ganancias directas de extremo a extremo para comunicaciones de trayectos múltiples entre uno de los M NA 515 respectivas y las ubicaciones de referencia (o de recuperación) en las K áreas de cobertura

del haz de usuario. Cada canal directo de trayectos múltiples de extremo a extremo acopla uno de los M NA 515 con las terminales de usuario 517 servidos por uno de los K haces directos de usuario a través de los L transpondedores 410 (ver la Figura 10). En algunos casos, solo un subconjunto de los L transpondedores 410 en el relé de extremo a extremo 503 se usan para crear el canal directo de trayectos múltiples de extremo a extremo (es decir, están en el trayecto de señal del canal directo de trayectos múltiples de extremo a extremo). En algunos casos, el número de haces de usuario K es mayor que el número de los transpondedores L que están en el trayecto de señal del canal directo de trayectos múltiples de extremo a extremo. Además, en algunos casos, el número de AN, M , es mayor que el número de los transpondedores L que están en el trayecto de señal del canal directo de trayectos múltiples de extremo a extremo.

Hfwd puede representar el enlace directo de extremo a extremo como el producto de las matrices **At** x **E** x **Cr**. Cada elemento en **Hfwd** es la ganancia directa de extremo a extremo debido a la naturaleza de trayectos múltiples del trayecto y puede sujetarse a un desvanecimiento profundo. Puede calcularse una ponderación de haz apropiada para cada una de la pluralidad de canales directos de trayectos múltiples de extremo a extremo 2208 por el CPS 505 dentro del segmento terrestre 502 para formar haces directos de usuario desde el conjunto de los M NA 515 hasta cada área de cobertura del haz de usuario 519. La pluralidad de NA 515 proporciona diversidad de trayectos de transmisión, al usar múltiples transmisores (NA) para un solo receptor (terminal de usuario), para permitir la transmisión satisfactoria de información para cualquier terminal de usuario 517 en presencia del canal de trayectos múltiples inducido intencionalmente.

Datos directos y de retorno combinados

La Figura 12 ilustra un ejemplo de relé de extremo a extremo que soporta ambas comunicaciones directas y de retorno. En algunos casos, los mismos trayectos de señal del relé de extremo a extremo (p. ej., conjunto de elementos de la antena de recepción, los transpondedores, y los elementos de la antena de transmisión) pueden usarse para el enlace directo de extremo a extremo 501 y el enlace de retorno de extremo a extremo 523. Algunos otros casos incluyen transpondedores de enlace directo y transpondedores de enlace de retorno, los cuales pueden o no compartir elementos de la antena de recepción y transmisión. En algunos casos, el sistema 1200 tiene una pluralidad de NA y terminales de usuario que se ubican en la misma región geográfica general 1208 (que puede ser, por ejemplo, un estado particular, todo un país, una región, toda un área visible, o cualquier otra región geográfica adecuada 1208). Un solo relé de extremo a extremo 1202 (dispuesto en un satélite o en cualquier otro relé de extremo a extremo) recibe señales de enlace ascendente directo 521 desde los NA 522 y transmite señales de enlace descendente directo a las terminales de usuario. En momentos alternos, o en frecuencias alternas, el relé extremo a extremo 1202 recibe además las señales

525 de enlace ascendente de retorno desde las terminales de usuario y transmite señales 527 de enlace descendente de retorno hasta los NA. En algunos casos, el relé 1202 de extremo a extremo se comparte entre datos directos y de retorno mediante el uso de técnicas tales como la duplicación de dominio de tiempo, duplicación de dominio de frecuencia, y lo similar. En algunos casos, la duplicación de dominio de tiempo entre los datos directos y de retorno usan el mismo rango de frecuencia: el dato directo se transmite durante diferentes (no superpuestos) intervalos de tiempo que aquellos usados para transmitir los datos de retorno. En algunos casos, con la duplicación de dominio de frecuencia, se usan diferentes frecuencias para los datos directos y los datos de retorno, permitiendo de esta manera, la transmisión al mismo tiempo sin interferencia de los datos directos y de retorno.

La Figura 13 es una ilustración de un rango de frecuencia de enlace ascendente y que se divide en dos porciones. La porción (izquierda) de frecuencia más baja del rango de enlace ascendente se asigna al enlace ascendente directo y porción (derecha) de frecuencia superior del rango se asigna al enlace ascendente de retorno. El rango de enlace ascendente puede dividirse en múltiples porciones ya sea de datos directos o de retorno.

La Figura 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 cual el dato directo se transporta durante el primer intervalo de tiempo de la trama, mientras que el dato de retorno se transporta durante el último intervalo de tiempo de la trama. El relé de extremo a extremo recibe desde uno o más nodos de acceso durante un primer (directo) intervalo de tiempo de recepción y desde una o más terminales de usuario durante un segundo (retorno) intervalo de tiempo de recepción que no se superpone al primer intervalo de tiempo de recepción. El relé de extremo a extremo transmite a una o más terminales de usuario durante un primer (directo) intervalo de tiempo de transmisión y a uno o más nodos de acceso durante un segundo (retorno) intervalo de tiempo de transmisión que no se superpone al primer intervalo de tiempo de recepción. La trama de datos puede repetirse o puede cambiar dinámicamente. La trama puede dividirse en porciones múltiples (p. ej., no contiguas) para los datos directos y de retorno.

Satélites de formación de haces de extremo a extremo

En algunos casos, el relé de extremo a extremo 503 se implementa en un satélite, de tal manera que el satélite se usa para retransmitir las señales desde los NA (los cuales pueden mencionarse como nodos de acceso satelital (NAS) en tales casos) hasta las terminales de usuario y viceversa. En algunos casos, el satélite está en órbita geoestacionaria. Un ejemplo de satélite que funciona como un relé de extremo a extremo tiene un arreglo de elementos de la antena de recepción, un arreglo de elementos de la antena de transmisión, y un número de transpondedores que conectan los elementos de la antena de recepción con los elementos de la antena de transmisión. Los arreglos tienen un gran número de elementos de la

antena con las áreas de cobertura del elemento de la antenna de superposición, similares a las antenas de elementos de fase de enlace único tradicionales. Son las áreas de cobertura del elemento de la antenna superpuestas en los elementos de la antenna de transmisión y en los elementos de antenna de recepción que crean el entorno de trayectos múltiples descrito anteriormente. En algunos casos, los patrones de antenna establecidos por los elementos de la antenna correspondientes, y aquellos que resultan en las áreas de cobertura del elemento de la antenna superpuestas (p. ej., los patrones de antenna del haz de componentes superpuestos), son idénticos. Para el propósito de esta exposición, el término "idéntico" significa que se siguen esencialmente la misma distribución de energía sobre un conjunto determinado de puntos en el espacio, que toma el elemento de la antenna como el punto de referencia para ubicar los puntos en el espacio. Es muy difícil que sean perfectamente idénticas. Por lo tanto, los patrones que tienen desviaciones relativamente pequeñas desde un patrón al otro están dentro del alcance de patrones "idénticos". En otros casos, los patrones de antenna del haz de componente de recepción pueden no ser idénticos, y de hecho pueden ser significativamente diferentes. Tales patrones de la antenna pueden resultar en áreas de cobertura de elementos de la antenna superpuestas, sin embargo, aquellas áreas de cobertura resultantes no serán idénticas.

Los tipos de antenna incluyen, pero no se limitan a, reflectores alimentados en red, arreglos confocales, arreglos de radiación directa y otras formas de arreglos de antenna. Cada antenna puede ser un sistema que incluye componentes ópticos adicionales para ayudar en la recepción y/o transmisión de señales, tal como uno o más reflectores. En algunos casos, un satélite incluye componentes que ayudan en la alineación de la temporización del sistema en la calibración de la formación de haces.

La Figura 15 es un diagrama de un ejemplo de satélite 1502 y puede usarse como un relé 503 de extremo a extremo. En algunos casos, el satélite 1502 tiene un arreglo de antenna de transmisión del reflector alimentado 401 y un arreglo de antenna de recepción del reflector alimentado 402. La antenna de recepción 402 comprende un reflector de recepción (no se muestra) y un arreglo de elementos de la antenna de recepción 406. Los elementos de la antenna de recepción 406 se iluminan por el reflector de recepción. La antenna de transmisión 401 comprende un reflector de transmisión (no se muestra) y un arreglo de elementos de la antenna de transmisión 409. Los elementos de la antenna de transmisión 409 se disponen para iluminar el reflector de transmisión. En algunos casos, el mismo reflector se usa para recibir y transmitir. En algunos casos, un puerto del elemento de la antenna se usa para recibir y otro puerto para la transmisión. Algunas antenas tienen la capacidad para distinguir entre señales de diferentes polarizaciones. Por ejemplo, un elemento de la antenna puede incluir cuatro puertos de onda guía para la recepción de la polarización circular derecha (RHCP), la recepción de la polarización circular izquierda (LHCP), la transmisión RHCP, y la transmisión LHCP, respectivamente. En algunos casos, las polarizaciones

duales pueden usarse para incrementar la capacidad del sistema; en otros casos, una sola polarización puede usarse para disminuir la interferencia (p. ej., con otros sistemas mediante el uso de una polarización diferente).

El satélite 1502 ilustrativo comprende, además, una pluralidad de transpondedores 410. Un transpondedor 410 conecta la salida desde un elemento de la antena de recepción 406 hasta la entrada de un elemento de la antena de transmisión 409. En algunos casos, el transpondedor 410 amplifica la señal recibida. Cada elemento de la antena de recepción genera una única señal recibida. En algunos casos, una submatriz de elementos de la antena de recepción 406 recibe una señal de un transmisor terrestre, tales como ya sea una terminal de usuario 517 en el caso de una señal de enlace de retorno o un NA 515 en el caso de una señal de enlace de directo. En algunos de estos casos, la ganancia de cada elemento de la antena de recepción en el subconjunto para la señal recibida está dentro de un rango relativamente pequeño. En algunos casos, el rango es de 3 dB. En otros casos, el rango es de 6 dB. En otros casos, el rango es de 10 dB. En consecuencia, el satélite recibirá una señal en cada una de la pluralidad de los elementos la de antena de recepción 406 del satélite, la señal de comunicación que se origina desde un transmisor terrestre, de manera que una submatriz de elementos de la antena de recepción 406 recibe la señal de comunicación en un nivel de señal de que no es sustancialmente menor que un nivel de señal que se corresponde con una ganancia de pico del elemento de la antena de recepción 406.

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

La salida del transpondedor se acopla a uno de los elementos de la antena de transmisión asociados. En estos ejemplos, existe una relación uno a uno entre un transpondedor 410, un elemento de la antena de recepción 406 asociado, y un elemento de la antena de

transmisión asociado 409, de manera tal que la salida de cada elemento de la antena de recepción 406 se conecta a la entrada de uno y solo un transpondedor y la intensidad de salida de un transpondedor se conecta a la entrada de uno y solo un elemento de la antena de transmisión.

La Figura 16 es una ilustración de un ejemplo de transpondedor 410. El transpondedor 410 puede ser un ejemplo de un transpondedor de un relé de extremo a extremo 503, como se describió anteriormente (p. ej., el satélite 1502 de la Figura 15). En este ejemplo, el transpondedor incluye un desfasador 418 además del amplificador de bajo ruido (LNA) 412, el convertidor de frecuencia y los filtros asociados 414, y el amplificador de intensidad (PA) del transpondedor 410. Como se ilustra en la Figura 16, el transpondedor 410 ilustrativo puede acoplarse, además, con un controlador 427 de desfase. Por ejemplo, el controlador de desfase 427 puede acoplarse (directa o indirectamente) con cada uno de algunos o todos los transpondedores de un relé de extremo a extremo 503, de manera que el controlador de desfase 427 puede ajustar individualmente las fases para cada transpondedor. Los desfasadores pueden ser útiles para la calibración, por ejemplo, como se expone más abajo.

Antenas

Para crear el entorno de trayectoria múltiple, las áreas de cobertura del elemento de la antena pueden superponerse con las áreas de cobertura del elemento de la antena de al menos otro elemento de la antena de la misma polaridad, frecuencia, y tipo (transmisión o recepción, respectivamente). En algunos casos, una pluralidad de patrones de antena del haz de componente de recepción, operable en la misma polarización de recepción y frecuencia de recepción (p. ej., que tienen al menos una porción en común de la frecuencia de recepción), se superponen entre sí. Por ejemplo, en algunos casos, al menos el 25 % de los patrones de antena del haz de componente de recepción, operables en la misma polarización de recepción y frecuencia de recepción (p. ej., que tienen al menos una porción en común de la frecuencia de recepción), se superponen con al menos otros cinco patrones de antena del haz de componente de recepción de los elementos de la antena de recepción. De manera similar, en algunos casos, al menos el 25 % de los patrones de antena del haz de componente de transmisión, operables en la misma frecuencia de polarización de recepción y frecuencia de recepción (p. ej., que tienen al menos una porción en común de la frecuencia de transmisión), se superponen con al menos otros cinco patrones de antena del haz de componente de transmisión. La cantidad de superposición variará de sistema a sistema. En algunos casos, al menos uno de los elementos de la antena de recepción 406 tiene patrones de antena del haz de componente que se superponen con los patrones de antena de otros elementos de la antena de recepción 406 operable en la misma frecuencia de recepción (p. ej., que tienen en común al menos una porción de la frecuencia de recepción), y la misma polarización de recepción. Por lo tanto, al menos algunos de la pluralidad de elementos de la antena de recepción capaces de recibir las mismas señales desde la

misma fuente. De manera similar, al menos uno de los elementos de la antena de transmisión 409 tiene un patrón de antena del haz de componente que se superpone con los patrones de antena de otros elementos de la antena de transmisión 409 operables en la misma frecuencia de transmisión (p. ej., que tienen en común al menos una porción de la frecuencia de transmisión) y polarización de transmisión. Por lo tanto, al menos algunas de la pluralidad de elementos de la antena de transmisión son capaces de transmitir señales que tienen la misma frecuencia a la misma polarización al mismo receptor. En algunos casos, los patrones de antena del haz de componente superpuestos pueden tener ganancias que difieren en menos de 3 dB (o cualquier otro valor adecuado) sobre un área geográfica común. Los elementos de la antena, ya sea de recepción o transmisión, pueden tener un patrón de antena del haz de componente amplio, y por lo tanto un área de cobertura de la antena relativamente amplio. En algunos casos, las señales transmitidas por un transmisor terrestre, tal como una terminal de usuario 517 o un nodo de acceso 515 se reciben por todos los elementos de la antena de recepción 406 del relé de extremo a extremo (p. ej., un 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 la antena de recepción. En otros casos, el subconjunto incluye al menos 75 % de los elementos de la antena de recepción. En aún otros casos, el subconjunto incluye al menos 90 % (p. ej., hasta e incluye todos) los elementos de la antena de recepción. Diferentes subconjuntos de elementos de recepción 406 puede recibir señales de diferentes transmisores terrestres. De manera similar, en algunos casos, un subconjunto de los elementos 409 transmite señales que pueden recibirse por una terminal de usuario 517. En algunos casos, el subconjunto incluye al menos 50 % de los elementos de antena de transmisión. En otros casos, el subconjunto incluye al menos 75 % de los elementos de antena de transmisión. En aún otros casos, el subconjunto incluye al menos 90 % (p. ej., hasta e incluye todos) los elementos de antena de transmisión. Diferentes subconjuntos de los elementos 409 pueden transmitir señales que se reciben por diferentes terminales de usuario. Además, las terminales de usuario pueden estar dentro de varias áreas de cobertura de haz de usuario formadas 519. Para los propósitos de esta invención, 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 desde/hasta el elemento de antena. En otros casos, la energía de uno o más elementos de antena de transmisión puede reflejarse en uno o más reflectores que forma el patrón de elemento de la antena. De manera similar, un elemento de recepción puede recibir energía directamente, o después de que la energía se ha reflejado fuera de uno o más reflectores. En algunos casos, las antenas pueden hacerse de varios elementos, cada una que tiene un patrón de antena del haz de componente que establece un área de cobertura del elemento de la antena. De manera similar, todas o una submatriz de elementos de la antena de recepción y transmisión que reciben y transmiten señales a los NA 515 pueden superponerse, de tal manera que una pluralidad de elementos de la antena de recepción recibe

señales desde el mismo NA 515 y/o una pluralidad de elementos de la antena de transmisión transmite señales al mismo NA 515.

La Figura 17 es una ilustración de los patrones de antena del haz de componente producidos por varios elementos de la antena (ya sea elementos de la antena 406, o elementos de la antena de transmisión 409) que se intersecan en los puntos de 3 dB. El patrón de antena del haz de componente 1301 de un primer elemento de la antena tiene una ganancia de antena del haz de componente pico a lo largo de la referencia de puntería 1303. El patrón de antena del haz de componente 1301 se muestra para atenuar aproximadamente 3 dB antes de que se interseca con el patrón de antena del haz de componente 1305. Debido a que cada par de dos patrones de antena del haz de componente se superponen alrededor de la línea 3 dB 1307 para una porción relativamente pequeña porción del patrón de antena del haz de componente, los elementos de la antena que producen estos patrones de antena del haz de componente se consideran para no superponerse.

La Figura 18 muestra los contornos de la antena de 3 dB ideales 3901, 3902, 3903 de varios elementos 406, 409 con la ganancia máxima designada con la letra 'x'. Los contornos 3901, 3902, 3903 se denominan en la presente como "idealizados" porque los contornos se muestran como circular por motivos de simplicidad. Sin embargo, los contornos 3901, 3902, 3903 no necesitan ser circulares. Cada contorno indica el lugar en el cual la señal transmitida o recibida es 3 dB por debajo del nivel pico. Fuera del contorno, la señal es más de 3 dB por debajo del pico. Dentro del contorno, la señal es menor que 3 dB por debajo del pico (es decir, dentro de 3 dB del pico). En un sistema en el cual el área de cobertura de un patrón de antena del haz de componente de recepción son todos los puntos para los cuales la ganancia de antena del haz de componente de recepción está dentro de 3 dB de la ganancia de antena del haz de componente de recepción de pico, el área dentro del contorno se denomina como el área de cobertura del elemento de antena. El contorno de la antena de 3 dB para cada elemento 406, 409 no se superpone. Esto es, solo una porción relativamente pequeña del área dentro del contorno de la antena de 3 dB 3901 se superpone con el área que está dentro de los patrones de antena de 3 dB adyacentes 3902, 3903.

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

La Figura 20A a través de la Figura 20E ilustran los contornos de antena de 3 dB para varios elementos de la antena 406, 409 con el punto central del haz (ganancia pico) designado con la letra 'x'. La Figura 20A muestra el contorno de antena particular 1411 de un primer elemento de antena 406. La Figura 20B muestra los contornos de la antena de 3 dB 1411, 1413 para dos

elementos particulares 406. La Figura 20C muestra los contornos de la antena de 3 DB para tres elementos 406. La Figura 20D muestra los contornos de la antena de 3 DB para los cuatro elementos de la antena 406. La Figura 20E muestra los contornos de la antena de 3 DB para un arreglo de 16 elementos de la antena 406. Los contornos de la antena de 3 DB se muestran para superponer 1418 (p. ej., se muestran dichos 16 contornos de antena de 3 DB). Los elementos de la antena ya sea en la antena de recepción o transmisión pueden disponerse en cualquiera de una variedad de configuraciones diferentes. Por ejemplo, si los elementos tienen un cuerno de alimentación generalmente circular, los elementos pueden disponerse en una configuración de estructura de tipo panal de abeja para empaquetar los elementos en una pequeña cantidad de espacio. En algunos casos, los elementos de la antena se alinean en filas horizontales y columnas verticales.

La Figura 21 es un ejemplo de ilustración de las posiciones relativas de los contornos de la antena de recepción de 3 dB asociadas con los elementos de la antena de recepción 406. Los centros del haz del elemento 406 se numeran 1 – 16, con el elemento 406₄ identificado por el número '4' hasta la parte superior izquierda del indicador central del haz 'x'. En algunos casos, puede haber más de 16 elementos de la antena de recepción 406. Sin embargo, por motivos de simplicidad, solo se muestran 16 en la Figura 21. Un arreglo correspondiente de elementos de la antena de transmisión 409 y sus contornos de antena de 3 dB asociados tendrán un aspecto similar al de la Figura 21. Por lo tanto, con motivo de la simplicidad, solo se muestra el arreglo de elementos de la antena 406. El área 2101 en el centro está donde todas las áreas de cobertura del elemento de la antena se superponen.

En algunos casos, al menos un punto dentro del área de cobertura del relé (p. ej., área de cobertura de un satélite) queda dentro del contorno de la antena 3 dB de los haces del componente de varios elementos de la antena 406. En dicho caso, al menos un punto está dentro del contorno de la antena de 3 dB de al menos 100 elementos de la antena diferentes 406. En otro caso, al menos el 10 % del área de cobertura del relé queda dentro de los contornos de la antena de 3 DB de al menos 30 elementos de antena diferentes. En otro caso, al menos el 20 % del área de cobertura del relé permanece dentro de los contornos de la antena de 3 dB de al menos 20 elementos de la antena diferentes. En otro caso, al menos el 30 % del área de cobertura del relé permanece dentro de los contornos de la antena de 3 DB de al menos 10 elementos de la antena diferentes. En otro caso, al menos el 40 % del área de cobertura del relé queda dentro de los contornos de antena de 3 DB de al menos ocho elementos de antena diferentes. En otro caso, al menos el 50 % del área de cobertura del relé queda dentro de los contornos de la antena de 3 DB de al menos cuatro elementos de antena diferentes. Sin embargo, en algunos casos, más de una de estas relaciones puede ser cierta.

En algunos casos, el relé de extremo a extremo tiene un área de cobertura de relé (p. ej., el área de cobertura del satélite) en la cual al menos el 25 % de los puntos en el área de cobertura del relé de enlace ascendente están dentro (p. ej., del alcance) que superponen las áreas de cobertura de al menos seis elementos de antena de recepción 406. En algunos casos, el 25 % de los puntos dentro del área de cobertura del relé de enlace ascendente están dentro (p. ej., del alcance) de las áreas de cobertura superpuestas de al menos cuatro elementos de antena de recepción 406. En algunos casos, el relé de extremo a extremo tiene un área de cobertura en la cual al menos el 25 % de los puntos en el área de cobertura del relé de enlace descendente están dentro (p. ej., del alcance) de las áreas de cobertura superpuestas de al menos seis elementos de antena de transmisión 409. En algunos casos, el 25 % de los puntos dentro del área de cobertura del relé de enlace descendente están dentro (p. ej., del alcance) de las áreas de cobertura superpuestas de al menos cuatro elementos de antena de transmisión 409.

En algunos casos, la antena de recepción 402 puede ser puntiaguda aproximadamente en la misma área de cobertura como la antena de transmisión 401, de tal manera que algunas áreas de cobertura de los elementos de antena de recepción pueden naturalmente corresponder a las áreas de cobertura de los elementos de antena de transmisión particulares. En estos casos, los elementos de antena de recepción 406 pueden asignarse a sus elementos de antena de transmisión 409 correspondientes a través de los transpondedores 410, que devengan áreas de cobertura del elemento de antena de transmisión y recepción similares para cada trayecto de señal de recepción/transmisión. En algunos casos, sin embargo, puede ser ventajoso para asociar los elementos de antena 406 a los elementos de antena 409 que no corresponden a la misma área de cobertura del haz de componente. En consecuencia, la asociación de los elementos de antena 406 de la antena de recepción 402 a los elementos 409 de la antena de transmisión 401 puede permutarse aleatoriamente (o de cualquier otra manera). Tal permutación incluye el caso que resulta en los elementos de antena de recepción 406 que no se correlacionan con los elementos de la antena de transmisión 409 en la misma ubicación relativa dentro del arreglo o que tienen la misma área de cobertura. Por ejemplo, cada elemento de la antena de recepción 406 dentro del arreglo del elemento de antena de recepción puede asociarse con el mismo transpondedor 410 como con el elemento de antena de transmisión 409 ubicado en la ubicación de espejo del arreglo del elemento de antena de transmisión. Cualquier otra permutación puede usarse para correlacionar los elementos de antena de recepción 406 con los elementos de antena de transmisión 409 de acuerdo con una permutación (p. ej., cada elemento de antena par 406 con el mismo transpondedor al cual se acopla un elemento de antena de transmisión 409 asociado de acuerdo con permutación particular de elemento de antena de recepción 406 y el elemento de antena de transmisión 409).

La Figura 22 es una tabla 4200 que muestra ejemplos de correlación de los elementos de la antena de recepción 406 con los elementos de la antena de transmisión 409 a través de los 16 transpondedores 410. Cada transpondedor 410 tiene una entrada que se acopla exclusivamente con un elemento de antena de recepción y una salida 406 que se acopla exclusivamente con un elemento de antena de transmisión asociado 409 (p. ej., existe una relación uno a uno entre cada elemento de la antena de recepción 406, uno transpondedores 410 y un elemento de la antena de transmisión 409). En algunos casos, otros elementos de la antena, de recepción, los transpondedores y elementos de la antena de transmisión pueden estar presentes en relé de extremo a extremo (p. ej., el satélite) que no se configuran en una relación uno a uno (y no funcionan 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 de la antena de recepción 406 al cual se acopla el transpondedor 410 de la primera columna. La tercera columna 4206 de la tabla 4200 identifica un elemento de la antena de transmisión asociado 409 al cual se acopla la salida del transpondedor 410. Cada elemento de la antena de recepción 406 se acopla a la entrada del transpondedor 410 identificado en la misma fila de la tabla de 4200. De manera similar, cada elemento de la antena de transmisión 409 se acopla a la salida del transpondedor 410 identificado en la misma fila de la tabla de 4200. La tercera columna de la tabla de 4200 muestra un ejemplo de correlación directa en la cual cada elemento de la antena de recepción 406 del arreglo de la antena de recepción se acopla al mismo transpondedor 410 como el elemento de antena de transmisión 409 en la misma ubicación relativa dentro del arreglo de antena de transmisión. La cuarta columna 4208 de la tabla de 4200 muestra un ejemplo de correlación entrelazada en el cual el primer elemento de la antena de recepción 406 se acopla al primer transpondedor 410 hasta el décimo elemento de la antena de transmisión 409. El segundo elemento de la antena de recepción 406 se acopla con el segundo transpondedor 410 y con el noveno elemento de antena de transmisión 409, y así sucesivamente. Algunos casos tienen otras permutaciones, que incluyen una correlación aleatoria en la cual el emparejamiento particular del elemento de la antena de recepción 406 y el elemento de transmisión 409 con un transpondedor 410 se seleccionan aleatoriamente.

La correlación directa, la cual intenta mantener las áreas de cobertura del elemento de antena de recepción y transmisión tan similar como sea posible para cada trayecto de señal de transmisión/recepción, generalmente se obtiene la más alta capacidad total del sistema. Las permutaciones aleatorias y entrelazadas generalmente producen ligeramente menos capacidad, pero proporcionan un sistema más robusto frente a las interrupciones de los AN, las interrupciones de la fibra en la red terrestre, o pérdida de trayectos de la señal de recepción/transmisión debido a la falla electrónica en el relé de extremo a extremo (p. ej., en uno o más transpondedores). Las

permutaciones aleatorias y entrelazadas permiten los NA no redundantes de menor costo a usarse. Las permutaciones aleatorias y entrelazadas proporcionan además menor variación entre la capacidad en el mejor rendimiento del haz y de la capacidad en el peor rendimiento del haz. Además, las permutaciones aleatorias y entrelazadas pueden ser más útiles para hacer funcionar inicialmente el sistema con solo una fracción de los NA que resulta solamente una fracción de la capacidad total que está disponible, pero sin pérdidas en el área de cobertura. Un ejemplo de esto es una presentación incremental de los AN, en donde que el sistema se operó inicialmente con solo el 50 % de los NA desplegados. Esto puede proporcionar menos de la capacidad total, mientras que aún permite el funcionamiento sobre la totalidad del área de cobertura. A medida que incrementa la demanda, más NA pueden desplegarse para incrementar la capacidad hasta la capacidad total se logra, con todos los NA activos. En algunos casos, un cambio en la composición de los NA resulta en un cálculo de las ponderaciones de los haces. Un cambio en la composición puede incluir el cambio de la cantidad o las características de uno o más NA. Esto puede requerir un cálculo de las ganancias de retorno y/o directas de extremo a extremo.

En algunos casos, la antena es una antena de reflector alimentado por red con un reflector parabólico. En otros casos, el reflector no tiene una forma parabólica. Un arreglo de elementos de la antena de recepción 406 pueden disponerse para recibir señales reflejadas por el reflector. De manera similar, un arreglo de elementos de antena de transmisión 409 pueden disponerse para formar un arreglo para iluminar el reflector. Una manera de proporcionar elementos con patrones de antena del haz de componente de superposición es tener los elementos 406, 409 desenfocados (descentrado) como consecuencia del plano focal del reflector que está detrás (o delante de) del arreglo de elementos 406, 409 (es decir, el arreglo de la antena de recepción que se ubica fuera del plano focal del reflector de recepción).

La Figura 23 es una ilustración de una sección transversal de un reflector de parabólico de alimentación central 1521. Un punto focal 1523 queda en un plano focal 1525 que es normal al eje central 1527 del reflector 1521. De las señales recibidas que chocan con el reflector 1521 paralelas al eje central 1527 se enfocan sobre el punto focal 1523. Del mismo modo, las señales que se transmiten desde un elemento de antena ubicado en el punto focal y que chocan con el reflector 1521 se reflejarán en un haz enfocado desde el reflector 1521 paralelas al eje central 1527. Una disposición de este tipo se emplea con frecuencia en los sistemas de Alimentación Única por Haz para maximizar la directividad de cada haz y minimizar la superposición con haces formados por las fuentes adyacentes.

La Figura 24 es una ilustración de otro reflector parabólico 1621. Al ubicar los elementos de antena 1629 (ya sea los elementos de la antena de recepción o los elementos de la antena de transmisión 406, 409, 3416, 3419, 3426, 3429,) fuera del plano focal (p. ej., delante del plano focal 1625 del reflector 1621), la trayectoria de las señales transmitidas 1631 que chocan con

el reflector 1621 no serán paralelas entre sí ya según se reflejan fuera del reflector 1621, lo que resulta en un mayor ancho del haz que en el caso enfocado. En algunos casos, se usan los reflectores que tienen formas diferentes a los parabólicos. Tales reflectores pueden resultar, además, en el desenfoque de la antena. El sistema de formación de haces de extremo a extremo puede usar este tipo de antenas desenfocadas para crear la superposición en el área de cobertura de los elementos de antena adyacentes y, por lo tanto, proporcionar un gran número de trayectos de recepción/transmisión útil para las ubicaciones de haz determinadas en el área de cobertura del relé.

En un caso, se establece un área de cobertura del relé, en el cual el 25 % de los puntos dentro del área de cobertura están dentro de las áreas de cobertura del elemento de antena de al menos seis patrones de antena del haz de componentes cuando el relé de extremo a extremo se despliega (p. ej., un relé de satélite de extremo a extremo en una órbita de servicio). Alternativamente, el 25 % de los puntos dentro del área de cobertura del relé están dentro de las áreas de cobertura del elemento de antena de al menos cuatro elementos de la antena de recepción. La Figura 25 es una ilustración de un ejemplo de área de cobertura del relé (para un relé de satélite de extremo a extremo, mencionada, además como área de cobertura de un satélite) 3201 (se muestra con un único enlace de sombreado diagonal) y el área 3203 (se muestra con el doble sombreado diagonal) definida por los puntos dentro del área de cobertura del relé 3201 están contenidos, además, dentro de las seis áreas de cobertura de los elementos de antena 3205, 3207, 3209, 3211, 3213, 3215. El área de cobertura 3201 y las áreas de cobertura del elemento de antena 3205, 3207, 3209, 3211, 3213, 3215 pueden ser ya sea las áreas de cobertura del elemento de antena de recepción o las áreas de cobertura del elemento de antena de transmisión y pueden asociarse solamente con el enlace directo o solamente con el enlace de retorno. El tamaño de las áreas de cobertura del elemento de antena 3205, 3207, 3209, 3211, 3213, 3215 se determina por el rendimiento deseado a proporcionarse por el sistema. Un sistema que es más tolerante a errores puede tener áreas de cobertura del elemento de antena que son mayores que las de un sistema que es menos tolerante. En algunos casos, cada área de cobertura del elemento de antena 3205, 3207, 3209, 3211, 3213, 3215 son todos los puntos para los cuales la ganancia de antena del haz de componente está dentro de 10 dB de la ganancia de antena del haz de componente pico para el elemento de antena que establece el patrón de antena del haz de componente. En otros casos, cada área de cobertura del elemento de antena 3205, 3207, 3209, 3211, 3213, 3215 son todos los puntos para los cuales la ganancia de antena del haz de componente está dentro de 6 dB de la ganancia de antena del haz de componente pico. En aún otros casos, cada área de cobertura del elemento de antena 3205, 3207, 3209, 3211, 3213, 3215 son todos los puntos para los cuales la ganancia de antena del haz de componente está dentro de 3 dB de la ganancia de antena del haz de componente pico. Incluso cuando un relé de extremo a extremo aún no se ha desplegado (p.

ej., un relé de satélite de extremo a extremo no está en una órbita de servicio, el relé de extremo a extremo aún tiene patrones de antena del haz de componente que conforman la definición anterior. Es decir, las áreas de cobertura del elemento de antena que corresponden a un relé de extremo a extremo en órbita pueden calcularse de los patrones de antena del haz de componente aun cuando el relé de extremo a extremo no está en una órbita de servicio. El relé de extremo a extremo puede incluir elementos de antena adicionales que no contribuyan a la formación de haces y por lo tanto no tienen las características mencionadas anteriormente.

La Figura 26 es una ilustración de un relé de extremo a extremo (p. ej., un satélite) el patrón de la antena 3300 en el cual todos los puntos dentro de un área de cobertura de relé 3301 (p. ej., el área de cobertura de un satélite) están contenidos, además, dentro de al menos cuatro áreas de cobertura de los elementos de antena 3303, 3305, 3307, 3309. Otros elementos de antena pueden existir en el relé de extremo a extremo y puede tener áreas de cobertura del elemento de antena 3311 que contienen menos que todos los puntos dentro del área de cobertura del relé 3301.

El sistema puede funcionar en cualquier espectro adecuado. Por ejemplo, un sistema de formación de haces de extremo a extremo puede funcionar en la C, L, S, X, V, Ka, Ku, u otra banda o bandas adecuadas. En algunos de tales sistemas, los medios de recepción funcionan en la 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 puede funcionar en el mismo rango de frecuencia (p. ej., en el área adyacente de 30 GHz); y el enlace descendente de retorno y el enlace descendente directo pueden funcionar en un rango de frecuencias que no se superponen (p. ej., en el área adyacente de 20 GHz). El sistema de extremo a extremo puede usar cualquier ancho de banda adecuado (p. ej., 500 MHz, 1 GHz, 2 GHz, 3.5 GHz, etcétera). En algunos casos, los enlaces directo y de retorno usan los mismos transpondedores.

Para ayudar a la alineación de la temporización del sistema, las longitudes de los trayectos entre los L transpondedores se configuran para coincidir con los retardos de tiempo del trayecto de señal en algunos casos, por ejemplo, a través de la selección de longitud de cable apropiada. El relé de extremo a extremo (p. ej., un satélite) en algunos casos tiene un generador de baliza del relé 426 (p. ej., una baliza del satélite) dentro de un módulo de soporte de calibración 424 (ver la Figura 15). El generador de baliza 426 genera una señal de baliza del relé. El relé de extremo a extremo transmite la señal de la baliza del relé para facilitar aún más la alineación de la temporización del sistema, así como también la calibración del enlace de alimentador de soporte. En algunos casos, la señal de baliza del relé es una secuencia pseudoaleatoria (conocida como PN), tal como una señal de espectro de difusión de secuencia directa PN que se mueve a una alta tasa de chip (p. ej., 100, 200, 400, o 800 millones de chips por segundo (Mcps), o cualquier otro valor adecuado). En algunos casos, una baliza de relé polarizado linealmente (p. ej., un satélite), que puede recibirse por las antenas RHCP y LHCP, se transmiten a través de una amplia área de cobertura

por una antena, tal como una bocina de antena (no se muestra) o se acoplan en uno o más de los transpondedores 410 para la transmisión a través del elemento de antena de transmisión asociado 409. En un ejemplo de sistema, los haces se forman en canales múltiples de 500 MHz de ancho a lo largo de la banda Ka, y un código de PN Mcps 400 se filtra o se forma de impulsos para ajustarse dentro de un canal de 500 MHz de ancho de banda. Cuando se usan los canales múltiples, el mismo código de PN puede transmitirse en cada uno de los canales. El sistema puede emplear una baliza para cada canal, o una baliza para dos o más canales.

Debido a que puede existir un gran número de trayectos de señal de recepción/transmisión en un relé de extremo a extremo, puede no requerirse la redundancia de trayectos de señal de recepción/transmisión. Al fallar de un trayecto de señal de recepción/transmisión, el sistema puede aún rendir muy cerca de su nivel anterior de rendimiento, aunque la modificación de los coeficientes de formación de haces puede usarse para dar cuenta de la pérdida.

Redes terrestres

La red terrestre de un ejemplo de sistema de formación de haces de extremo a extremo contiene un número de estaciones terrestres de nodos de acceso (NA) distribuidos geográficamente señalados en un relé de extremo a extremo. Mirando primero en el enlace directo, un sistema de procesamiento central (CPS) calcula ponderaciones de haz para la transmisión de datos de usuario e interactúa con los NA a través de una red de distribución. El CPS interactúa, además, con las fuentes de datos que se suministra a las terminales de usuario. La red de distribución puede implementarse de diversas maneras, por ejemplo, mediante el uso de una infraestructura de cable de fibra óptica. La temporización entre el CPS y los NAS puede ser determinista (p. ej., mediante el uso de canales de circuitos conmutados) o no determinista (p. ej., mediante el uso de una red de conmutación por paquetes). En algunos casos, el CPS se implementa en un único sitio, por ejemplo, mediante el uso de circuitos integrados específicos de aplicación a la medida (ASIC) para manejar el procesamiento de señales. En algunos casos, el CPS se implementa en procesos de manera distribuida, por ejemplo, mediante el uso de técnicas de computación en nube.

Volviendo al ejemplo de la Figura 5, el CPS 505 puede incluir una pluralidad de módems de enlace de alimentador 507. Para el enlace directo, los módems de enlace de alimentador 507 cada uno recibe flujos de datos directos de usuario 509 desde varias fuentes de datos, tal como la Internet, un video de cabecera (no se muestra), etcétera. Los flujos de datos directos de usuario recibidos 509 se modulan por los módems 507 en las señales de haz directo 511. En algunos casos, K puede estar en el rango 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 lleva los flujos de datos directos a transmitirse en uno de los K haces directos de usuario. En consecuencia, si $K = 400$, entonces existen 400 señales de

haz directo 511, cada una a transmitirse sobre uno de los 400 haces directos de usuario asociados hasta un área de cobertura de haz directo 519. Las K señales de haz directo 511 se acoplan a un formador de haz directo.

Si los M NA 515 están presentes en el segmento terrestre 502, entonces la salida del generador de haces directo son M señales directas del nodo de acceso específico 516, cada una de las cuales que comprende señales de haz directo ponderadas que corresponden a algunos o a todas las K señales de haz directo 511. El formador de haz directo puede generar las M señales directas del nodo de acceso específico 516 basado en un producto matricial de la matriz de ponderación del haz directo $K \times M$ con las K señales de datos directos. Una red de distribución 518 distribuye cada una de las señales directas del nodo de acceso específico hasta uno de los M NA515 correspondiente. Cada NA 515 transmite una señal de enlace ascendente directo 521 que comprende una señal directa del nodo de acceso específico 516 respectiva. Cada NA 515 transmite su respectiva señal de enlace ascendente directo 521 para retransmitir a una o más (p. ej., hasta e incluye todas) áreas de cobertura de haz directo de usuario a través de uno o más (p. ej., hasta e incluye todos) los trayectos de señales de transmisión/recepción del relé de extremo a extremo. Los transpondedores 410, 411 dentro del relé de extremo a extremo 503 reciben una señal directa de entrada compuesta que comprende una superposición 550 de señales de enlace ascendente directo 521 transmitidas por una pluralidad (p. ej., hasta e incluye todos) de NA 515. Cada transpondedor (p. ej., cada trayecto de señal de recepción/transmisión a través del relé) retransmite la señal directa de entrada compuesta como una respectiva señal de enlace descendente directo a las terminales de usuario 517 a lo largo del enlace descendente directo.

La Figura 27 es una ilustración de un ejemplo de distribución de los NA 515. Cada uno de los círculos numerados más pequeños representa la ubicación de un NA 515. Cada uno de los círculos más grandes indica a un área de cobertura de haz de usuario 519. En algunos casos, los NA 515 se separan casi uniformemente sobre el área de cobertura del relé de extremo a extremo 503. En otros casos, los NA 515 pueden distribuirse de manera no uniforme sobre toda el área de cobertura. En otros casos, los NA 515 pueden distribuirse de manera uniforme o no uniforme sobre una o más subregiones del área de cobertura del relé. Por lo general, el rendimiento del sistema es el mejor cuando los NA 515 se distribuyen de manera uniforme sobre toda el área de cobertura. Sin embargo, las consideraciones pueden determinar compromisos en la colocación del NA. Por ejemplo, puede colocarse un 515 basado en la cantidad de interferencia, de la lluvia, o de otras condiciones ambientales, el costo de estado real, el acceso a la red de distribución, etcétera. Por ejemplo, para un sistema de relé de extremo a extremo basado en satélite que es sensible a la lluvia, puede colocarse más de los NA 515 en áreas que son menos probables a experimentar desvanecimiento inducido por lluvia (p. ej., el oeste de los Estados Unidos). Como otro ejemplo, los NA 515 pueden colocarse más

densamente en regiones de lluvia alta (p. ej., en el sureste de los Estados Unidos) para proporcionar alguna ganancia de diversidad para contrarrestar los efectos del deterioro por la lluvia. Los NA 515 pueden ubicarse a lo largo de las rutas de fibra para reducir la distribución de costos asociados con los NA 515.

El número de NA 515, M , es un parámetro seleccionable que puede seleccionarse basado en diversos criterios. Pueden resultar menos NA en un segmento terrestre de menor costo y más simple, y de costos operativos más bajos para la red de distribución. Puede resultar más NA en una mayor capacidad del sistema. La Figura 28 muestra una simulación de la capacidad de enlace directo y de retorno normalizada en función de la cantidad de NA desplegados en un ejemplo de sistema. La capacidad normalizada es la capacidad con los M NA dividido por la capacidad obtenida con el mayor número de NA en la simulación. La capacidad aumenta mientras el número de NA aumenta, pero no aumenta sin límites. Tanto las capacidades del enlace directo y del enlace de retorno se aproximan a un límite asintótico mientras el número de NA se incrementa. Esta simulación se ejecutó con elementos de la antena de transmisión y recepción $L = 517$ y con los NA distribuidos uniformemente sobre el área de cobertura, pero este comportamiento asintótico de la capacidad puede observarse a otros valores para L y otras distribuciones espaciales de NA. Las curvas, como que se ilustran en la Figura 28, pueden ser útiles en la selección del número de NA, M , a desplegar y para entender cómo la capacidad del sistema puede desfasarse mientras los NA se despliegan gradualmente, como se describió anteriormente.

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

Para el enlace directo, la interfaz de la señal de haz 524 obtiene señales de haz directo (FBS) 511 asociadas con cada uno de los haces directos de usuario. La interfaz de la señal de haz 524 puede incluir un multiplexor de datos de haz directo 526 y un modulador de flujo de datos de haz directo 528. El multiplexor de datos de haz directo 526 puede recibir flujos de datos directos de usuario 509 que comprende datos directos para la transmisión a las terminales de usuario 517. Los flujos de datos directos de usuario 509 pueden comprender, por ejemplo, paquetes de datos (p. ej., los paquetes TCP, los paquetes UDP, etcétera) para la transmisión a las terminales de usuario 517 a través del sistema de formación de haces de extremo a extremo 500 de la Figura 5. El multiplexor de datos de haz directo 526 agrupa (p. ej., multiplexa) los flujos de datos directos de usuario 509 de acuerdo con sus respectivas áreas de cobertura de haz directo de usuario para obtener los flujos de datos de haz directo 532. El multiplexor de datos de haz directo 526 puede usar, por ejemplo, multiplexación de dominio de

tiempo, multiplexación de dominio de frecuencia, o una combinación de técnicas de multiplexación para generar flujos de datos de haz directos 532. El modulador de flujo de datos de haz directo 528 puede modular los flujos de datos directos 532 de acuerdo con uno o más esquemas de modulación (p.e j., correlacionar los datos de bits con los símbolos de modulación) para crear las señales de haz directo 511, los cuales se pasan al formador de haz directo/de retorno 513. En algunos casos, el modulador 528 puede multiplexar por frecuencia señales moduladas múltiples para crear una señal de haz de portadores múltiples 511. La interfaz de señal de haz 524 puede implementar, por ejemplo, la funcionalidad de módems de enlace de alimentador 507 se descritos con referencia a la Figura 5.

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

Para el enlace de retorno, la interfaz de distribución 536 obtiene las señales de retorno compuestas 907 desde los NA 515 (p. ej., a través de la red de distribución 518). Cada señal de datos de retorno de las terminales de usuario 517 puede incluirse en múltiples señales de retorno compuestas 907 (p. ej., una y todas). El generador de ponderación de haz 910 genera una matriz de ponderación de haz de retorno $K \times M$ 937. Las técnicas para generar la matriz de ponderación haz de retorno $K \times M$ 937 se describen en mayor detalle más adelante. El formador de haz retorno 531 calcula las K señales de haz de retorno 915 para las K áreas de cobertura de haz de usuario de retorno. Por ejemplo, este cálculo puede basarse en un producto matricial de una matriz de ponderación de haz de retorno 937 y un vector de las respectivas señales de retorno compuestas 907. La interfaz de la señal de haz 524 puede incluir un demodulador de señal de haz de retorno 552 y un desmultiplexor de datos de haz de retorno 554. El demodulador de señal de haz de retorno 552 puede demodular cada una de las señales de haz de retorno para obtener los K flujos de datos de haz de retorno 534, asociados con las K áreas de cobertura de

haz de usuario de retorno. El desmultiplexor de datos de haz de retorno 554 puede desmultiplexar cada uno de los K flujos de datos de haz de retorno 534 en los respectivos flujos de datos de usuario de retorno 535 asociados con las señales de datos de retorno, transmitidas desde las terminales de usuario 517. En algunos ejemplos, cada uno de los haces de usuario de retorno puede asociarse con una de las R subbandas de frecuencia de retorno. En este caso, el formador de haz de retorno 531 puede generar los respectivos subconjuntos de las señales de haz de retorno 915, asociados con cada una de las R subbandas de frecuencia de retorno (p. ej., la implementación efectiva de la operación del producto matricial para cada una de las R subbandas de frecuencia de retorno para generar los respectivos subconjuntos de las señales de haz de retorno 915).

La Figura 30 es un diagrama de bloques de un ejemplo de formador de haz directo/ de retorno 513. El formador de haz directo/ de retorno 513 comprende un formador de haz directo 529, un módulo de sincronización directo 945, un formador de haz de retorno 531, y un módulo de sincronización 947. El módulo de sincronización directo 945 asocia cada una de las M señales directas de nodo de acceso específico 516 con una marca de tiempo (p. ej., multiplexa la marca de tiempo con la señal directa de nodo de acceso específico, en una señal directa de nodo de acceso específico multiplexada) que indica cuando se desea que la señal llegue al relé de extremo a extremo. De esta manera, los datos de las K señales de haz directo 511, que se dividen en un módulo de división 904 dentro del formador de haz directo 529, puede transmitirse en el momento apropiado por cada uno de los NA 515. El módulo de sincronización de 947 alinea las señales recibidas basado en las marcas de tiempo. Las muestras de las M señales de retorno compuestas (CRS) 907 de los NA, se asocian con las marcas de tiempo que indican cuando se transmiten las muestras particulares desde el relé de extremo a extremo. Las consideraciones y generación de sincronización de las marcas de tiempo se describen en mayor detalle más adelante.

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

El generador de ponderación de haz directo 917 genera una matriz de ponderación de haz directo $M \times K$ 918. En algunos casos, la matriz de ponderación de haz directo 918, se genera

basada en una matriz de canal en la que los elementos se estiman de las ganancias directa de extremo a extremo para cada uno de los $K \times M$ canales multitrayectos directos de extremo a extremo, para formar una matriz de canal directa, como se describe más adelante. Las estimaciones de ganancia de extremo a extremo se realizan en un módulo estimador de canal 919. En algunos casos, el estimador de canal tiene un almacenamiento de datos de canal 921, que almacena los datos relativos a diversos parámetros de los canales multitrayectos de extremo a extremo, como se describe en más detalles, más adelante. El estimador de canal 919 produce una señal estimada de ganancia de extremo a extremo, para permitir que el generador de ponderación de haz directo 917 genere la matriz de ponderación de haz directo 918. Cada uno de los módulos de ponderación y suma 533 se acoplan para recibir a los vectores respectivos de las ponderaciones de la formación de haces de la matriz de ponderación de haz directo 918 (solo una conexión de este tipo se muestra en la Figura 30 para simplificar). El primer módulo de ponderación y suma 533 aplica una ponderación igual al valor de elemento 1,1 de la matriz de ponderación de haz directo $M \times K$ 918 a la primera de las K señales de haz directo 511 (descrita en más detalles más abajo). Una ponderación igual al valor del elemento 1,2 de la matriz de ponderación del haz directo $M \times K$ 918 se aplica a la segunda de las K señales de haz directo 511. Las otras ponderaciones de la matriz se aplican de manera similar, a través de la $K^{\text{ésima}}$ señal de haz directo 511, que se pondera con el valor igual al elemento 1, K de la matriz de ponderación de haz directo $M \times K$ 918. Cada una de las K señales de haz directo ponderadas 903 se suman entonces y se producen a partir del primer módulo de ponderación y suma 533 como una señal directa de nodo de acceso específico 516. La señal directa de nodo de acceso específico 516 producida por el primer módulo de ponderación y suma 533 se acopla entonces al módulo de sincronización 945. El módulo de sincronización 945 produce la señal directa de nodo de acceso específico 516 al primer NA 515 a través de una red de distribución 518 (ver la Figura 5). De manera similar, cada uno de los otros módulos de ponderación y suma 533 reciben las K señales de haz directo 511, y ponderan y suman las K señales de haz directo 511. Las salidas de cada uno de los M módulos de ponderación y suma 533 se acoplan a través de la red de distribución 518 a los M NA 515 asociadas, de forma que la salida del $m^{\text{ésimo}}$ módulo de ponderación y suma se acopla con el $m^{\text{ésimo}}$ NA 515. En algunos casos, la vibración y el retardo no uniforme a través de la red de distribución, así como algunas otras consideraciones de sincronización, se manejan por parte del módulo de sincronización 945 mediante la asociación de una marca de tiempo con el dato. Los detalles de un ejemplo de técnica de sincronización se proporcionan más adelante con respecto a las figuras 36 y 37.

Como consecuencia de las ponderaciones de haz aplicadas por los formadores de haz 529 en el segmento terrestre 502, las señales que se transmiten desde los NA 515 a través del relé de extremo a extremo 503, forman los haces de usuario. El tamaño y la ubicación de los haces que son capaces de formarse, pueden ser una función de la cantidad de NA 515 que se despliegan,

el número y los patrones de antenas de los elementos de antena de relé a través de los cuales pasa la señal, la ubicación de los relés de extremo a extremo 503 y/o la separación geográfica de los NA 515.

Con referencia ahora al enlace de retorno de extremo a extremo 523 que se muestra en la Figura 5, una terminal de usuario 517 dentro de una de las áreas de cobertura del haz de usuario 519, transmite las señales hasta el relé de extremo a extremo 503. Las señales se retransmiten entonces hacia abajo, a los segmentos terrestres 502. Las señales se reciben por los NA 515.

Con referencia nuevamente a la Figura 30, las M señales de enlace descendente de retorno 527 se reciben por los M NA 515 y se acoplan como señales de retorno compuestas 907, desde los M NA 515 a través de la red de distribución 518 y se reciben en una entrada de nodo de acceso 931 del formador de haz de retorno 531. El módulo de sincronización 947 alinea las señales de retorno compuestas de los M NA 515 con cada una y produce las señales alineadas en el tiempo hacia el formador de haz de retorno 531. Un generador de ponderación de haz de retorno 935 genera las ponderaciones de haz de retorno como una matriz de ponderación de haz de retorno $K \times M$ 937, basado en la información almacenada en el almacenamiento de datos del canal 941, dentro de un estimador de canal 943. El formador de haz de retorno 531 tiene una entrada de ponderaciones de haz 939 a través de la cual el formador de haz de retorno 531 recibe la matriz de ponderación de haz de retorno 937. Cada una de las M señales de retorno compuestas 907 de la AN, se acoplan con uno de los M módulos divisores y de ponderación 539 dentro del formador de haz de retorno 531. Cada módulo divisor y de ponderación 539, divide la señal alineada en el tiempo en K copias 909. Los módulos divisores y de ponderación 539, ponderan cada una de las K copias 909 mediante el uso del elemento k, m de la matriz de ponderación de haz de retorno $K \times M$ 937. Otros detalles adicionales relacionados con la matriz de ponderación de haz de retorno $K \times M$, se proporcionan más adelante. Cada conjunto de las K señales de retorno compuestas ponderadas 911 se acopla entonces con un módulo de combinación 913. En algunos casos, el módulo de combinación 913 combina la $k^{\text{ésima}}$ señal de retorno compuesta ponderada 911, producida por cada módulo divisor y de ponderación 539. El formador de haz de retorno 531 tiene una salida de señal de datos de retorno 933 que produce las K señales de haz de retorno 915, cada una de las cuales tiene las muestras asociadas con uno de los K haces de usuario de retorno 519 (p. ej., las muestras recibidas a través de cada uno de los M NA). Cada una de las K señales de haz de retorno 915 puede tener muestras de una o más terminales de usuario 517. Las K señales de haz de retorno formadas 915, alineadas y combinadas, se acoplan con los módems de enlace de alimentador 507 (ver la Figura 5). Nótese que el ajuste de sincronización de retorno puede realizarse después de la ponderación y división. De manera similar, para el enlace directo, el ajuste de sincronización directo puede realizarse antes de la formación de haces.

Como se describió anteriormente, el formador de haz directo 529 puede realizar las operaciones del producto matricial en las muestras de entrada de las K señales de haz directo 511 para calcular las M señales directas de nodo de acceso específico 516 en tiempo real. A media que el ancho de banda del haz se incrementa (p. ej., para soportar una duración de símbolo más corta) y/o K y M se tornan grandes, la operación del producto matricial se torna computacionalmente intensa y puede exceder las capacidades de un nodo de cómputo simple (p. ej., un único servidor de cómputo, etc.). Las operaciones del formador de haz de retorno 531 son de manera similar, computacionalmente intensas. Se pueden usar varios métodos para la partición de los recursos de cómputo de múltiples nodos de cómputo en el formador de haz directo/ de retorno 513. En un ejemplo, el formador de haz directo 529 de la Figura 30 puede particionarse en módulos de suma y ponderación 533 separados para cada uno de los M NA 515, los que pueden distribuirse en diferentes nodos de cómputo. Generalmente, las consideraciones para las implementaciones incluyen el costo, consumo de energía, capacidad de escalado con respecto a K , M y el ancho de banda, la disponibilidad del sistema (p. ej., debido a una falla en un nodo, etc.), la posibilidad de actualización, y la latencia del sistema. El ejemplo anterior es por filas (o columnas). El caso contrario es posible. Otras maneras de agrupar las operaciones matriciales pueden considerarse (p. ej., dividir en cuatro con $[1.1 \text{ a } K/2, M/2]$, [...], calculadas individualmente y sumadas).

En algunos casos, el formador de haz directo/ de retorno 513 puede incluir una arquitectura de multiplexado de dominio del tiempo para procesar las operaciones de ponderación de haz mediante los formadores de haz de intervalo de tiempo. La Figura 31 es un diagrama de bloques de un ejemplo de formador de haz directo 529 que comprende múltiples formadores de haz de intervalo de tiempo directos con multiplexado y desmultiplexado en el dominio del tiempo. El formador de haz directo 529 incluye un desmultiplexor de señal de haz directo 3002, N formadores de haz de intervalo de tiempo directos 3006, y un multiplexor de señal de nodo de acceso directo 3010.

El desmultiplexor de señal de haz directo 3002 recibe las señales de haz directo 511 y desmultiplexa las K señales de haz directo 511 en las entradas de intervalo de tiempo directas 3004 para la entrada a los formadores de haz de intervalo de tiempo directos 3006. Por ejemplo, el desmultiplexor de señal de haz directo 3002 envía un primer subconjunto de muestras de dominio temporal para las K señales de haz directo 511 hacia un primer formador de haz de intervalo de tiempo directo 3006, el cual genera las muestras asociadas con las M señales directas de nodo de acceso específico que corresponden con el primer subconjunto de muestras de dominio temporal. El formador de haz de intervalo de tiempo directo 3006 produce muestras asociadas con las M señales directas de nodo de acceso específico para el primer subconjunto de muestras de dominio temporal, mediante su salida de intervalo de tiempo directa 3008 hacia el multiplexor de señal de nodo de acceso directo 3010. El formador de haz de intervalo de tiempo directo 3006 puede producir las muestras asociadas con cada

una de las M señales directas de nodo de acceso específico con la información de tiempo de sincronización (p. ej., el índice de intervalo de tiempo correspondiente, etc.) que se usa por los nodos de acceso para provocar (p. ej., mediante la corrección previa) las respectivas señales directas de nodos de acceso específicos para sincronizarse cuando se reciban por el relé de extremo a extremo. El multiplexor de la señal de nodo de acceso directo 3010 multiplexa los subconjuntos de las muestras de dominio temporal de las M señales directas de nodo de acceso específico recibidas mediante las N salidas de intervalo de tiempo directas 3008 para generar las M señales directas de nodo de acceso específico 516. Cada uno de los formadores de haz de intervalo de tiempo directos 3006, puede incluir un almacenamiento de datos, un almacenamiento de matriz de haz y un procesador de ponderación de haz que implementa la operación del producto matricial. Esto significa que, uno de los formadores de haz de intervalo de tiempo directo 3006 pueden implementar el cómputo matemático equivalente al módulo de división 904 y a los módulos de ponderación y suma 533 que se muestran para el formador de haz directo 529 de la Figura 30, durante el procesamiento de las muestras del índice de intervalo de tiempo. La actualización de la matriz de ponderación de haz puede realizarse gradualmente. Por ejemplo, los almacenamientos de la matriz de ponderación de haz para los formadores de haz de intervalo de tiempo directo pueden actualizarse durante el tiempo en espera en una rotación de los índices t de intervalo de tiempo a través de los N formadores de haz de intervalo de tiempo directos 3006. Alternativamente, cada formador de haz de intervalo de tiempo directo puede tener dos almacenamientos que pueden usarse en una configuración de ping pong (p. ej., uno puede actualizarse mientras el otro se usa). En algunos casos, los almacenamientos múltiples pueden usarse para almacenar las ponderaciones de haz correspondientes a los múltiples patrones de haz de usuario (p. ej., las áreas múltiples de cobertura de usuario). Los almacenamientos de ponderación de haz y los almacenamientos de datos para los formadores de haz de intervalo de tiempo directos 3006, pueden implementarse como cualquier tipo de memoria o almacenamiento que incluya memoria de acceso aleatorio estática o dinámica (RAM). El procesamiento de ponderación de haz puede implementarse en un circuito integrado específico de aplicación (ASIC) y/o en un arreglo de puertas programables de campo (FPGA), y pueden incluir uno o más núcleos de procesamiento (p. ej., en un entorno de cómputo de nube). Adicional o alternativamente, el almacenamiento de ponderación de haz, el almacenamiento de datos y el procesador de ponderación de haz, pueden integrarse dentro de un componente.

La Figura 32 ilustra un ejemplo de un segmento terrestre de simplificado que muestra la operación de un formador de haz de intervalo de tiempo directo 529. En el ejemplo de la Figura 32, el formador de haz 529 recibe cuatro señales de haz directo (p. ej., $K=4$), genera las señales directas de nodo de acceso específico para los cinco NA (p. ej., $M=5$) y tiene tres formadores de haz de intervalo de tiempo directos (p. ej., $N=3$). Las señales de haz directo se denotan por $FBk:t$, en donde k es el índice de la señal de haz directo y t es el índice de intervalo de tiempo (p. ej., que corresponde con un subconjunto de muestras de dominio temporal). El desmultiplexor de la señal del haz directo 3002

recibe cuatro subconjuntos de las muestras de dominio temporal de las señales de haz directo asociadas con cuatro haces directos de usuario y desmultiplexa cada señal de haz directo, de forma que una entrada de intervalo de tiempo directa 3004 incluya, para un índice t de intervalo de tiempo en particular, los subconjuntos de las muestras de dominio temporal de cada una de las señales del haz directo 511. Por ejemplo, los subconjuntos de dominio del tiempo pueden ser una muestra única, un bloque continuo de muestras o un bloque discontinuo de muestras (p. ej., intercaladas) como se describe más adelante. Los formadores de haz de intervalo de tiempo directos 3006 generan (p. ej., basados en las señales de haz directo 511 y en la matriz de ponderación de haz directo 918) cada una de las M señales directas de nodo de acceso específico para el índice t de intervalo de tiempo, denotado por $AF_m:t$. Por ejemplo, los subconjuntos de dominio del tiempo $FB1:0$, $FB2:0$, $FB3:0$, y $FB4:0$ para el índice de intervalo de tiempo $t=0$ son entradas al primer formador de haz de intervalo de tiempo directo $TSBF[1]$ 3006, lo cual genera las muestras correspondientes de las señales directas de nodo de acceso específico $AF1:0$, $AF2:0$, $AF3:0$, $AF4:0$, y $AF5:0$ en una salida de intervalo de tiempo directa 3008. Para los subsecuentes valores de índice de intervalo de tiempo $t=1, 2$, los subconjuntos de las muestras de dominio temporal de las señales de haz directo 511, se desmultiplexan por el desmultiplexor de señal de haz directo 3002 para la entrada al segundo y al tercer formadores de haz directo de intervalo de tiempo 3006, lo que genera las señales directas de nodo de acceso específico asociadas con los correspondientes índices t de intervalo de tiempo en las salidas de intervalo de tiempo directas 3008. La Figura 32 muestra, además, que en el valor del índice de intervalo de tiempo $t=3$, el primer formador de haz de intervalo de tiempo directo genera las señales directas de nodo de acceso específico asociadas con el índice correspondiente de intervalo de tiempo 3. La operación del producto matricial realizada por cada uno de los formadores de haz de intervalo de tiempo directos 3006 para un valor de índice de intervalo de tiempo t , puede demorar más que el tiempo real de un subconjunto de muestras de dominio temporal (p. ej., la cantidad de muestras S multiplicada por la frecuencia de muestreo t_s). Sin embargo, cada formador de haz de intervalo de tiempo directo 3006 puede procesar solamente un subconjunto de muestras de dominio temporal cada N índices t de intervalo de tiempo. El multiplexor de señal de nodo de acceso directo 3010 recibe las salidas de intervalo de tiempo directas 3030 desde cada formador de haz de intervalo de tiempo directo 3006 y multiplexa los subconjuntos de las muestras de dominio temporal para generar las M señales directas de nodos de acceso específico 516 para la distribución a los respectivos NA.

La Figura 33 es un diagrama de bloques de un ejemplo de formador de haz de retorno 531 que comprende múltiples formadores de haz de intervalo de tiempo de retorno con multiplexado y desmultiplexado en el dominio del tiempo. El formador de haz de retorno 531 incluye un desmultiplexor de señal compuesta de retorno 3012, N formadores de haz de intervalo de tiempo de retorno 3016, y un multiplexor de señal de haz de retorno 3020. El desmultiplexor de señal compuesta de retorno 3012 recibe las M señales de retorno compuestas 907 (p. ej., desde los

M NA) y desmultiplexa las M señales de retorno compuestas 907 en las entradas de intervalo de tiempo de retorno 3014 para la entrada a los N formadores de haz de intervalo de tiempo de retorno 3016. Cada uno de los formadores de haz de intervalo de tiempo de retorno 3016 produce las K señales de haz de retorno 915 para los correspondientes subconjuntos de las muestras de dominio temporal, mediante las respectivas salidas de intervalo de tiempo de retorno 3018 a los multiplexores de señal de haz de retorno 3020. El multiplexor de señal de haz de retorno 3020 multiplexa los subconjuntos de las muestras de dominio temporal para las K señales de haz de retorno recibidas mediante las N salidas de intervalo de tiempo de retorno 3018 para generar las K señales de haz de retorno 915. Cada uno de los formadores de haz de intervalo de tiempo de retorno 3016, puede incluir un almacenamiento de datos, un almacenamiento de matriz de haz y un procesador de ponderación de haz que implementan la operación del producto matricial. Esto significa que, cada uno de los formadores de haz de intervalo de tiempo de retorno 3016 pueden implementar el cómputo matemático equivalente a los módulos de división y ponderación 539 y al módulo de combinación 913 que se muestran para los formadores de haz de retorno 531 de la Figura 30, durante el procesamiento de las muestras de un índice de intervalo de tiempo. Como se describió anteriormente con los formadores de haz de intervalo de tiempo directos, la actualización de la matriz de ponderación del haz puede realizarse de forma incremental mediante la utilización de una configuración de almacenamiento de ponderación de haz de ping pong (p. ej., uno puede actualizarse mientras el otro se utiliza). En algunos casos, los almacenamientos múltiples pueden usarse para almacenar las ponderaciones de haz correspondientes a los múltiples patrones de haz de usuario (p. ej., las áreas múltiples de cobertura de usuario). Los almacenamientos de ponderación de haz y los almacenamientos de datos para los formadores de haz de intervalo de tiempo de retorno 3016 pueden implementarse como cualquier tipo de memoria o almacenamiento que incluya memoria de acceso aleatorio estática o dinámica (RAM). El procesamiento de ponderación de haz puede implementarse en un circuito integrado específico de aplicación (ASIC) y/o en un arreglo de puertas programables de campo (FPGA), y pueden incluir uno o más núcleos de procesamiento. Adicional o alternativamente, el almacenamiento de ponderación de haz, el almacenamiento de datos y el procesador de ponderación de haz, pueden integrarse dentro de un componente.

La Figura 34 ilustra un ejemplo de un segmento terrestre simplificado que muestra la operación de un formador de haz de retorno 531 que emplea la multiplexación de dominio del tiempo. En el ejemplo de la Figura 33, el formador de haz de retorno 531 recibe cinco señales de retorno compuestas (p. ej., $M=5$), genera las señales de haz de retorno para los cuatro haces de usuario de retorno (p. ej., $K=5$) y tiene tres formadores de haz de intervalo de tiempo (p. ej., $N=3$). Las señales de retorno compuestas se denotan por $RC_m:t$, en donde m es el índice de NA y t es el índice de intervalo de tiempo (p. ej., que corresponde con un subconjunto de muestras de dominio temporal). El

desmultiplexor de señal compuesta de retorno 3012 recibe cuatro subconjuntos de las muestras de dominio temporal de las señales de retorno compuestas desde los cinco NA y desmultiplexa cada una de las señales de retorno compuestas, de forma que una entrada de intervalo de tiempo de retorno 3014 incluya, para un índice t de intervalo de tiempo en particular, los correspondientes subconjuntos de las muestras de dominio temporal de cada una de las señales de retorno compuestas 907. Por ejemplo, los subconjuntos de dominio del tiempo pueden ser una muestra única, un bloque continuo de muestras o un bloque discontinuo de muestras (p. ej., intercaladas) como se describe más adelante. Los formadores de haz de intervalo de tiempo de retorno 3016 generan (p. ej., basados en las señales de retorno compuestas 907 y en la matriz de ponderación de haz de retorno 937) cada una de las K señales de haz de retorno para el índice t de intervalo de tiempo, denotado por $RB_k:t$. Por ejemplo, los subconjuntos de las muestras de dominio temporal $RC1:0$, $RC2:0$, $RC3:0$, $RC4:0$ y $RC5:0$ para el índice de intervalo de tiempo $t=0$, son las entradas de un primer formador de haz de intervalo de tiempo de retorno 3016, el cual genera las muestras correspondientes de las señales de haz de retorno $RB1:0$, $RB2:0$, $RB3:0$ y $RB4:0$ en una salida de intervalo de tiempo de retorno 3018. Para los subsecuentes valores de índice de intervalo de tiempo $t=1, 2$, los subconjuntos de las muestras de dominio temporal de las señales de retorno compuestas 907 se desmultiplexan por el desmultiplexor de señal compuesta de retorno 3012 para la entrada a un segundo y a un tercer formador de haz de intervalo de tiempo de retorno 3016, respectivamente, lo que genera las muestras para las señales de haz de retorno asociadas con los correspondientes índices t de intervalo de tiempo en las salidas de intervalo de tiempo de retorno 3018. La Figura 34 muestra, además, que en un valor de índice de intervalo de tiempo $t=3$, el primer formador de haz de intervalo de tiempo de retorno genera las muestras de las señales de haz de retorno asociadas con el correspondiente índice de intervalo de tiempo 3. La operación del producto matricial realizada por cada formador de haz de intervalo de tiempo de retorno 3016 para un valor t de índice de intervalo de tiempo, puede tomar más tiempo que el tiempo real del subconjunto de muestras de dominio temporal (p. ej., la cantidad de muestras S multiplicada por la frecuencia de muestreo f_s). Sin embargo, cada formador de haz de intervalo de tiempo de retorno 3016 puede procesar solamente un subconjunto de muestras de dominio temporal cada N índices t de intervalo de tiempo. El multiplexor de señal de haz de retorno 3020 recibe las salidas de intervalo de tiempo de retorno 3018 desde cada uno de los formadores de haz de intervalo de tiempo de retorno 3016 y multiplexa los subconjuntos de dominio del tiempo de las muestras para generar las K señales de haz de retorno 915.

Aunque las figuras 31-34 ilustran la misma cantidad N de formadores de haz de intervalo de tiempo directos 3006 que los formadores de haz de intervalo de tiempo de retorno 3016, algunas implementaciones pueden tener mayor o menor formadores de haz de intervalo de tiempo directos 3006 que formadores de haz de intervalo de tiempo de retorno 3016. En algunos ejemplos, el formador de haz directo 529 y/o el formador de haz de retorno 531 pueden tener capacidad de reserva para robustez a las fallas del nodo. Por ejemplo, si cada formador de haz de intervalo de tiempo directo

3006 toma t_{TS} para procesar un conjunto de muestras para un índice t de intervalo de tiempo que tiene una duración t_b de intervalo de tiempo en tiempo real, en donde $t_{TS} = N t_b$, el formador de haz directo 529 puede tener $N+E$ formadores de haz de intervalo de tiempo directos 3006. En algunos ejemplos, cada uno de los $N+E$ formadores de haz de intervalo de tiempo directos 3006 se usan durante el funcionamiento, con cada formador de haz de intervalo de tiempo directo 3006 que tiene una capacidad efectiva extra de E/N . Si un formador de haz de intervalo de tiempo directo 3006 falla, las operaciones puede trasladarse a otro formador de haz de intervalo de tiempo directo 3006 (p. ej., mediante el ajuste de cómo se direccionan las muestras del dominio del tiempo (o grupos de muestras) a través de la multiplexación y demultiplexación del dominio del tiempo.). De este modo, el formador de haz directo 529 puede tolerar hasta E formadores de haz de intervalo de tiempo directos 3006 que fallen antes de que se impacte el funcionamiento del sistema. Adicionalmente, la capacidad extra permite el mantenimiento y la actualización del sistema de los formadores de haz de intervalo de tiempo mientras el sistema se encuentra en funcionamiento. Por ejemplo, la actualización de los formadores de haz de intervalo de tiempo puede realizarse de manera incremental debido a que el sistema es tolerante a un rendimiento diferente entre los formadores de haz de intervalo de tiempo. Pueden intercalarse las muestras de datos asociadas con un índice t de intervalo de tiempo. Por ejemplo, un primer índice t_0 de intervalo de tiempo puede asociarse con las muestras $0, P, 2P, \dots (S-1)*P$, mientras que un segundo índice t_1 de intervalo de tiempo puede asociarse con las muestras $1, P+1, 2P+1 \dots (S-1)*P+1$, etc., en donde S es la cantidad de muestras en cada conjunto de muestras, y P es la duración del intercalado. El intercalado puede, además, hacer al sistema más robusto a las fallas del formador de haz de intervalo de tiempo, debido a que cada bloque de formador de haz de intervalo de tiempo de las muestras se separa en el tiempo ya que los errores debido a bloques perdidos se distribuyen en el tiempo, similarmente a la ventaja del intercalado en la corrección del error directo. De hecho, los errores distribuidos provocados por la falla del formador de haz de intervalo de tiempo pueden provocar efectos similares al ruido y no resultar en algún error de dato de usuario, especialmente si se emplea la codificación de error directo. Aunque se han ilustrado ejemplos en donde $N=3$, otros valores de N pueden usarse y no es necesario que N tenga alguna relación en particular con K o con M .

Como se describió anteriormente, el formador de haz directo 529 y el formador de haz de retorno 531 que se ilustran en las figuras 31 y 33, respectivamente, pueden realizar una multiplexación y una demultiplexación en el dominio del tiempo para la formación de haces de intervalo de tiempo para una subbanda de canal o frecuencia. Las múltiples subbandas pueden procesarse de manera independiente mediante la utilización de una capa adicional de conmutación mux/demux de subbanda. La Figura 35 es un diagrama de bloques de un ejemplo de un formador de haz directo/ de retorno multibanda 513, que emplea la multiplexación y la demultiplexación de subbanda. El formador de haz directo/ de retorno multibanda 513 puede soportar subbandas directas F y subbandas de retorno R .

El formador de haz directo/ de retorno multibanda 513 incluye formadores de haz de subbanda directos F 3026, formadores de haz de subbanda de retorno R 3036 y un multiplexor/desmultiplexor de subbanda 3030. Por ejemplo, las señales de haz directo 511 pueden dividirse en subbandas directas F . Cada una de las subbandas directas F pueden asociarse con un subconjunto de áreas de cobertura de haz directo de usuario K . Esto significa que, las áreas de cobertura de haz directo de usuario K pueden incluir múltiples subconjuntos de áreas de cobertura de haz directo de usuario asociadas con diferentes (p. ej., diferente frecuencia y/o polarización, etc.) subbandas de frecuencia, en donde las áreas de cobertura de haz directo de usuario dentro de cada subconjunto pueden no superponerse (p. ej., en los contornos de señal de 3 dB, etc.). Por lo tanto, cada una de las entradas del formador de haz de subbanda directo 3024 puede incluir un subconjunto K_1 de señales de haz directo 511. Cada uno de los formadores de haz directo F 3026 pueden incluir la funcionalidad del formador de haz directo 529, generar las salidas del formador de haz de subbanda directo 3028 que comprende las señales directas de nodo de acceso específico M asociadas con el subconjunto de las señales de haz directo 511 (p. ej., un producto matricial 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 NA 515 puede recibir múltiples señales directas de nodo de acceso específico asociadas con diferentes subbandas de frecuencia (p. ej., por cada una de las subbandas directas F). Los NA pueden combinar (p. ej., sumar) las señales en las diferentes subbandas en las señales del enlace ascendente directo, como se describe en más detalle más adelante. Similarmente, los NA 515 pueden generar múltiples señales de retorno compuestas 907 para las R diferentes subbandas de retorno. Cada una de las subbandas de retorno R pueden asociarse con un subconjunto de las áreas de cobertura de haz de usuario de retorno K . Esto significa que, las áreas de cobertura de haz de usuario de retorno pueden incluir múltiples subconjuntos de áreas de cobertura de haz de usuario de retorno asociadas con diferentes subbandas de frecuencia, en donde las áreas de cobertura de haz de usuario de retorno dentro de cada uno de los subconjuntos pueden no superponerse (p. ej., en contornos de señal de 3 dB, etc.). El multiplexor/desmultiplexor de subbanda 3030 puede dividir las señales de retorno compuestas 907 en las R entradas de formadores de haz de retorno de subbandas 3034. Cada uno de los formadores de haz de subbandas de retorno 3036, pueden generar una salida de formador de haz de subbanda de retorno 3038, que puede incluir las señales de haz de retorno 915 para un subconjunto de los haces de usuario de retorno (p. ej., los módems de enlace de alimentador 507 o el demodulador de señal de haz de retorno, etc.). En algunos ejemplos, el formador de haz directo/ de retorno multibanda 513 puede soportar polarizaciones múltiples (p. ej., polarización circular de la mano derecha (RHCP), polarización circular de la mano izquierda (LHCP), etc.), que en algunos casos puede doblar de manera efectiva la cantidad de subbandas.

En algunos casos, la multiplexación y desmultiplexación de intervalo de tiempo para el formador de haz directo 529 y para el formador de haz de retorno 531 (p. ej., desmultiplexor de

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

Nivelación de retardo

En algunos casos, las diferencias en los retardos de propagación en cada uno de los trayectos entre el relé de extremo a extremo 503 y el CPS 505 son insignificantes. Por ejemplo, sobre el enlace de retorno, cuando la misma señal (p. ej., los datos hacia o desde un usuario determinado) se reciben por los múltiples NA 515, cada instancia de la señal puede arribar al CPS esencialmente alineada con cada una de las otras instancias de la señal. Del mismo modo, cuando la misma señal se transmite a una terminal de usuario 517 a través de varios NA 515, cada instancia de la señal puede llegar a la terminal del usuario 517 esencialmente alineado con cada una de las otras instancias de la señal. En otras palabras, las señales pueden alinearse en tiempo y fase con la precisión suficiente para que las señales se combinen coherentemente, de forma que los efectos de la formación de haces y los retardos de trayectos sean pequeños en relación con la tasa de símbolo. Como ejemplo ilustrativo, si la diferencia en las demoras de los trayectos es de 10 microsegundos, el ancho de banda de la formación de haces puede estar sobre el orden de las decenas de kHz y puede usarse una señal de ancho de banda estrecho, tal como, por ejemplo, ≈ 10 ksps con una pequeña posibilidad de degradación en el funcionamiento. La frecuencia de señalización de 10 ksps tiene una duración de símbolo de 100 microsegundos, y un retardo de propagación de 10 microsegundos solamente es la décima parte de la duración del símbolo. En estos casos, para los fines del análisis del sistema, puede suponerse que señales recibidas por el relé de extremo a extremo en un instante, se retransmitirán y se transmitirán en el mismo tiempo esencialmente, como se describió anteriormente.

En otros casos, puede haber una diferencia significativa en el retardo de propagación con respecto al intervalo de señalización (duración del símbolo transmitido) de las señales transmitidas desde los elementos de antena de transmisión 409 a los NA 515. La trayectoria que las señales toman desde cada uno de los NA 515 a través de la red de distribución 518 pueden contener variaciones de retardo significativas. En estos casos, puede emplearse la nivelación de retardo para coincidir con los retardos del trayecto.

Para las señales de enlace de retorno de extremo a extremo, recibidas a través de la red de distribución 518 por los CPS 505, las señales pueden alinearse en el tiempo mediante la utilización de una señal de baliza de relé transmitida desde el relé de extremo a extremo, por ejemplo, una baliza PN como se describió anteriormente. Cada uno de los NA 515 puede marcar temporalmente la señal de retorno compuesta mediante la utilización de la señal de baliza como una referencia. Por lo tanto, los diferentes NA 515 pueden recibir la misma señal en momentos diferentes, pero las señales recibidas en cada NA 515 puede tener una marca de tiempo para permitir que el CPS 505 las alinee en el tiempo. El CPS 505 puede almacenar las señales para que se realice la formación de haces mediante la combinación de las señales que tienen la misma marca de tiempo.

Regresando a las Figuras 33 y 34, la nivelación de retardo para el enlace de retorno puede realizarse por la desmultiplexación de las señales de retorno compuestas a los formadores de haz de intervalo de tiempo de retorno 3016. Por ejemplo, cada NA puede dividir la señal de retorno compuesta en conjuntos de muestras asociadas con los índices t de intervalo de tiempo, los que pueden incluir muestras intercaladas de la señal de retorno compuesta. Los índices t de intervalo de tiempo pueden determinarse en base a la señal de baliza de relé. Los NA pueden enviar los subconjuntos de muestras multiplexadas con los índices t de intervalo de tiempo correspondientes (p. ej., como una señal de retorno compuesta multiplexada) al formador de haz de retorno 531, que puede servir como una información temporizada de sincronización del enlace de retorno. Los subconjuntos de muestras de cada uno de los NA pueden desmultiplexarse (p. ej., a través de la conmutación), y un formador de haz de intervalo de tiempo de retorno 3016 puede recibir los subconjuntos de las muestras para cada NA para un índice t de intervalo de tiempo (para una de las subbandas, en algunos casos). Mediante el desarrollo del producto matricial de la matriz de ponderación de haz de retorno y los subconjuntos de muestras para cada una de las M señales de retorno compuestas asociadas con el índice t de intervalo de tiempo, el formador de haz de intervalo de tiempo de retorno 3016 puede alinear las señales retransmitidas por el relé de extremo a extremo al mismo tiempo para aplicar la matriz de ponderación de haz de retorno.

Para el enlace directo, el formador de haz 513 dentro del CPS 505 puede generar una marca de tiempo que indica cuando cada señal directa de nodo de acceso específico, transmitida por los

NA 515, se desea que llegue al relé de extremo a extremo 503. Cada NA 515 puede transmitir una señal de baliza de nodo de acceso 2530, por ejemplo, una señal PN de lazo invertido. Cada una de dichas señales pueden enlazarse de manera invertida y transmitirse de manera invertida a los NA 515 mediante el relé de extremo a extremo 503. Los NA 515 pueden recibir tanto la señal de baliza de relé como las señales de baliza de nodo de acceso retransmitidas (enlazadas de manera invertida), desde cualquiera o de todos los NA. La sincronización recibida de la señal de baliza de nodo de acceso con relación a la sincronización recibida de la señal de baliza de relé, cuando la señal de baliza de nodo de acceso llega al relé de extremo a extremo. Al ajustar la sincronización de la señal de baliza de nodo de acceso de manera que, después de la transmisión por parte del relé de extremo a extremo, esta llega al NA al mismo tiempo que la señal de baliza de relé llega al NA, se fuerza a que la señal de baliza de nodo de acceso llegue al relé de extremo a extremo sincronizado con la baliza de relé. Al tener a todos los NA en la realización de esta función, esto permite que todas las señales de baliza de nodo de acceso lleguen al relé de extremo a extremo sincronizadas con la baliza de transmisión. La etapa final en el proceso consiste en tener cada NA que transmite sus señales directas de nodo de acceso específico sincronizadas con sus señales de baliza de nodo de acceso. Esto puede realizarse con las marcas de tiempo como se describe posteriormente. Alternativamente, el CPS pueden manejar nivelación de retardo al enviar las respectivas señales directas de nodo de acceso específico, compensadas por las respectivas compensaciones de dominio del tiempo a los NA (p. ej., en donde la sincronización mediante la red de distribución es determinística).

La Figura 36 es una ilustración de las secuencias PN usadas para alinear la sincronización del sistema. El eje horizontal de la figura representa el tiempo. Una secuencia NA_1 PN 2301 de los circuitos 2303 se transmiten en la señal de baliza de nodo de acceso desde el primer NA. El tiempo relativo de llegada de esta secuencia al relé de extremo a extremo, se representa por medio de la secuencia PN 2305. Existe un desplazamiento de tiempo de la secuencia PN 2305 con respecto a la secuencia NA_1 PN 2301, debido al retardo de propagación desde el NA hasta el relé de extremo a extremo. Una secuencia de baliza PN de relé 2307 se genera dentro, y se transmite desde, el relé de extremo a extremo en una señal de baliza de relé. Un circuito PN de la secuencia de baliza PN de relé 2307 en el tiempo T_0 2315 se alinea con un circuito PN 2316 de la señal NA_1 PN recibida 2305 en el tiempo T_0 . El circuito PN 2316 de la señal recibida NA_1 PN 2305, se alinea con el circuito PN 2315 de la baliza PN de relé 2307 cuando la sincronización de transmisión NA_1 se ajusta por la cantidad apropiada. La secuencia PN 2305 se enlaza desde el relé de extremo a extremo y la secuencia PN 2317 se recibe en el NA_1 . Una secuencia PN 2319 transmitida desde el relé de extremo a extremo en la baliza PN del relé, se recibe en el NA_1 . Note que las secuencias PN 2317, 2319 están alineadas en el NA_1 lo que indica que se alinearon en el relé de extremo a extremo.

La Figura 37 muestra un ejemplo de un NA_2 que no se ha ajustado adecuadamente la sincronización de la secuencia PN generada en el NA_2 . Note que la secuencia PN 2311 generada por el

NA₂ se recibe en el relé de extremo a extremo que se muestra como la secuencia 2309 con una compensación por una cantidad dt desde la secuencia PN 2307 de la baliza PN de relé. Esta compensación se debe a un error de sincronización utilizado para generar la secuencia en el NA₂. Nótese, además, que la llegada de la secuencia NA₂ PN 2321 en NA₂ se compensa desde la llegada de la secuencia PN de la baliza PN del relé en NA₂ 2323 por la misma cantidad dt . El procesamiento de la señal en NA₂ observará este error y puede realizar una corrección a la sincronización de la transmisión por medio del ajuste de la sincronización por una cantidad dt para alinear con las secuencias PN 2321, 2323.

En las Figuras 36 y 37 se usó la misma velocidad de circuito PN para la baliza PN de relé y todas las señales NA (lazo) PN para facilitar la ilustración del concepto. Los mismos conceptos de sincronización pueden aplicarse con diferentes frecuencias de circuitos PN. Regresando a las Figuras 31 y 32, los índices t de intervalo de tiempo pueden usarse para sincronizar las señales directas de nodos de acceso específicos recibidas desde cada uno de los NA en el relé de extremo a extremo. Por ejemplo, los índices t de intervalo de tiempo pueden multiplexarse con las señales directas de nodos de acceso específicos 516. Cada NA puede transmitir muestras de señales directas de nodo de acceso específico con un índice t de intervalo de tiempo en particular, alineado con la correspondiente información de sincronización en la secuencia PN de los circuitos transmitidos en las señales de baliza de nodo de acceso respectivo. Debido a que las señales de baliza de nodo de acceso respectivas se han ajustado para compensar los respectivos retardos de trayectoria y desplazamientos de fase entre los NA y el relé de extremo a extremo, las muestras asociadas con el índice t de intervalo de tiempo llegarán al relé de extremo a extremo con la sincronización adecuada y la fase alineada correctamente con respecto a la otra.

En los casos en donde los NA reciban sus propias señales de baliza de nodo de acceso, es posible el retorno de lazo de las señales de baliza de nodo de acceso mediante el uso del mismo hardware de comunicación de relé de extremo a extremo, que transporta, además, los datos de comunicaciones en la dirección directa. En estos casos, las ganancias relativas y/o fases de los transpondedores en el relé de extremo a extremo, pueden ajustarse como se describe más abajo.

La Figura 38 es un diagrama de bloques de un ejemplo de NA 515. El NA 515 comprende un receptor 4002, un elemento de ajuste de la sincronización y fase recibidas 4024, un demodulador de señal de baliza de relé 2511, un multiplexor 4004, una interfaz de red 4006, un controlador 2523, un desmultiplexor 4060, un compensador de fase y sincronización de la transmisión 4020 y un transmisor 4012. La interfaz de red 4006 puede conectarse, por ejemplo, al CPS 505 mediante un puerto de red 4008.

En el enlace de retorno, el receptor 4002 recibe una señal de enlace descendente de retorno 527. La señal de enlace descendente de retorno 527 puede incluir, por ejemplo, una

composición de las señales de enlace ascendente de retorno mediante el relé de extremo a extremo (*p. ej.*, mediante múltiples trayectos de señal de recepción/ transmisión, etc.) y la señal de baliza de relé. El receptor 4002 puede realizar, por ejemplo, una conversión hacia abajo y el muestreo. El demodulador de señal de baliza de relé 2511 puede demodular la señal de baliza de relé en la señal de retorno compuesta digital 907 para obtener la información de sincronización de transmisión 2520. Por ejemplo, el demodulador de señal de baliza de relé 2511 puede realizar una demodulación para recuperar la sincronización de circuito asociada con el código PN de relé y generar las marcas de tiempo correspondientes al tiempo de la transmisión desde el relé de extremo a extremo para las muestras de la señal de retorno compuesta digitalizada 527. El multiplexor 4004 puede multiplexar la información de sincronización de transmisión 2520 con las muestras de la señal de retorno compuesta digitalizada (*p. ej.*, para formar una señal de retorno compuesta multiplexada) para enviar al CPS 505 (*p. ej.*, mediante la interfaz de red 4006). La multiplexación de la información de sincronización 2520 puede incluir la generación de los subconjuntos de las muestras que corresponden con los índices t de intervalo de tiempo para el envío al CPS 505. Por ejemplo, el multiplexor 4004 puede producir los subconjuntos de muestras asociadas con cada índice t de intervalo de tiempo para la entrada a la arquitectura del formador de haz de intervalo de tiempo de retorno descrita anteriormente con referencia a las figuras 33, 34 y 35. El multiplexor 4004 puede incluir un dispositivo de entrelazado 4044 para entrelazar las muestras para cada subconjunto de muestras, en algunos casos.

En el enlace directo, la interfaz de red 4006 puede obtener una señal de entrada NA 4014 (*p. ej.*, mediante un puerto de red 4008). El desmultiplexor 4060 puede desmultiplexar una señal de entrada NA 4014 para obtener la señal directa de nodo de acceso específico 516 y la información de sincronización de transmisión de señal directa 4016 que indica la sincronización de transmisión para la señal directa de nodo de acceso específico 516. Por ejemplo, la señal directa de nodo de acceso específico 516 puede comprender la información de sincronización de transmisión de la señal directa (*p. ej.*, multiplexada con las muestras de datos, etc.). En un ejemplo, la señal directa del nodo de acceso específico 516 comprende unos conjuntos de muestras (*p. ej.*, en paquetes de datos), en donde cada conjunto de muestras se asocia con un índice t de intervalo de tiempo. Por ejemplo, cada conjunto de muestras puede ser muestras de la señal directa de nodo de acceso específico 516 generadas de acuerdo con la arquitectura de la formación de haces de intervalo de tiempo directa que se describió anteriormente con referencia a las Figuras 31, 32 y 35. El desmultiplexor 4060 puede incluir un dispositivo de desentrelazado 4050 para desentrelazar las muestras asociadas con los índices t de intervalo de tiempo.

El compensador de fase y sincronización de la transmisión 4020 pueden recibir y almacenar la señal directa de nodo de acceso específico 516 y producir las muestras de señal de enlace ascendente directo 4022 para la transmisión del transmisor 4012 en un tiempo apropiado como señal de enlace ascendente directo 521. El transmisor 4012 puede realizar la conversión digital

a analógica y la conversión ascendente para producir la señal de enlace ascendente directo 521. Las muestras de la señal de enlace ascendente directo 4022 pueden incluir la señal directa de nodo de acceso específico 516 y una señal de baliza de nodo de acceso 2530 (*p.ej.*, la señal PN de lazo de retroceso), la cual puede incluir la información de sincronización de transmisión (*p.ej.*, la información de sincronización de circuito de código PN, la información de sincronización de trama, *etc.*). El compensador de fase y sincronización de la transmisión 4020 puede multiplexar la señal directa de nodo de acceso específico 516 con la señal de baliza de nodo de acceso 2530, de forma que la información de fase y sincronización de transmisión 4016 de la señal directa, se sincronice con la correspondiente información de fase y sincronización de la transmisión en la señal de baliza de nodo de acceso 2530.

En algunos ejemplos, la generación de la señal de baliza de nodo de acceso 2530, se realiza localmente en el NA 515 (*p.ej.*, en el generador de señal de baliza de nodo de acceso 2529). Alternativamente, la generación de la señal de baliza de nodo de acceso 2530 puede realizarse en un componente separado (*p.ej.*, un CPS 505) y enviarse al NA 515 (*p.ej.*, mediante la interfaz de red 4006). Como se describió anteriormente, la señal de baliza de nodo de acceso 2530 puede usarse para compensar la señal de enlace ascendente 521 en cuanto a diferencias de trayectos y desplazamientos de fases entre el NA y el relé de extremo a extremo. Por ejemplo, la señal de baliza de nodo de acceso 2530 puede transmitirse en la señal de enlace ascendente directo 521 y retransmitirse por el relé de extremo a extremo para recibirse de regreso en el receptor 4002. El controlador 2523 puede comparar la información de fase y de sincronización de la transmisión 4026 obtenida (*p.ej.*, mediante demodulación, *etc.*) desde la señal de baliza de nodo de acceso retransmitida con la información de fase y sincronización recibidas 4028, obtenida (*p.ej.*, mediante demodulación, *etc.*) a partir de la señal de baliza de relé. El controlador 2523 puede generar un ajuste de sincronización y fase 2524 para la entrada al compensador de sincronización y fase de transmisión 4020, para ajustar la señal de baliza de nodo de acceso 2530 para compensar el retardo de trayectoria y los desplazamientos de fase. Por ejemplo, la señal de baliza de nodo de acceso 2530 puede incluir una información de sincronización de trama y de código PN (*p.ej.*, uno o más bits de un número de trama, *etc.*). El compensador de fase y sincronización de transmisión 4020 puede, por ejemplo, ajustar la información de sincronización de la trama para la compensación aproximada del retardo de trayectoria (*p.ej.*, la información de sincronización de trama de salida en la señal de baliza de nodo de acceso, de manera que la señal de baliza de nodo de acceso retransmitida tendrá la información de sincronización de trama retransmitida aproximadamente alineada con la información correspondiente de sincronización de trama en la señal de baliza de relé, cambio en el cual, el circuito del código PN se considera el LSB, *etc.*). Adicional o alternativamente, el compensador de fase y de sincronización de transmisión 4020 puede realizar los ajustes de fase y

sincronización para las muestras de la señal de enlace ascendente directo 4022 para compensar las diferencias de fase y sincronización entre la información de fase y sincronización de la transmisión 4026 y la información de fase y sincronización recibida 4028. Por ejemplo, en donde la señal de baliza de nodo de acceso 2530 se genera basándose en un oscilador local, las diferencias de sincronización o fase entre el oscilador local y la señal de baliza de relé recibida pueden corregirse mediante los ajustes de fase y sincronización a las muestras de la señal de enlace ascendente directo 4022. En algunos ejemplos, la demodulación de la señal de baliza de nodo de acceso se realiza localmente en el NA 515 (p. ej., en el demodulador de señal de baliza de nodo de acceso 2519). Alternativamente, la demodulación de la señal de baliza de nodo de acceso puede realizarse en un componente separado (p. ej., un CPS 505) y la información retransmitida de fase y sincronización de la transmisión 4026, puede obtenerse en otra señalización (p. ej., a través de la interfaz de red 4006). Por ejemplo, el desvanecimiento profundo puede dificultar la recepción y la demodulación de la señal de baliza de nodo de acceso retransmitida propia de la AN, sin la transmisión en una potencia mayor que otra señalización, lo que puede reducir la demanda de potencia para las señales de comunicación. Por lo tanto, la combinación de la recepción de la señal de baliza de nodo de acceso retransmitida desde múltiples NA 515, puede incrementar la potencia recibida efectiva y la precisión de demodulación para la señal de baliza de nodo de acceso retransmitida. Por lo tanto, la demodulación de la señal de baliza de nodo de acceso desde un único NA 515 puede realizarse mediante la utilización de las señales de enlace descendente recibidas en múltiples NA 515. La demodulación de la señal de baliza de nodo de acceso puede realizarse en el CPS 505, basado en las señales de retorno compuestas 907, las cuales pueden incluir, además, información de señal para las señales de baliza de nodo de acceso a partir de la mayoría o de todos los NA 515. Si se desea, la formación de haces de extremo a extremo para las señales de baliza de nodo de acceso puede realizarse tomando en cuenta los enlaces ascendentes de baliza de nodo de acceso (p. ej., **Cr**), relé de bucle (p. ej.o, **E**) y/o los enlaces descendentes de baliza de nodo de acceso (p. ej., **Ct**).

Eliminación de deficiencias del enlace alimentador

Además de la nivelación del retardo de los trayectos de la señal al relé de extremo a extremo a partir de todas las AN, los desplazamientos de fase inducidos por los enlaces alimentadores pueden eliminarse antes de la formación de haces. El desplazamiento de fase de cada enlace entre el relé de extremo a extremo y las M AN, será diferente. Las causas para los desplazamientos de fase diferentes para cada enlace incluyen, sin limitarse, a la longitud de trayectoria de propagación, las condiciones atmosféricas como centelleo, el desplazamiento de la frecuencia Doppler y los diferentes errores del oscilador del NA. Estos desplazamientos de fase son generalmente diferentes para cada NA y varían en el tiempo (debido al centelleo, desplazamiento Doppler y a la diferencia en los errores del oscilador del NA). Al eliminar las deficiencias dinámicas del enlace del alimentador, la velocidad a

la que las ponderaciones del haz se adaptan puede ser menor que una alternativa donde las ponderaciones de haz se adaptan lo suficientemente rápido para rastrear la dinámica del enlace del alimentador.

En la dirección de retorno, las deficiencias del enlace descendente del alimentador a un NA son comunes tanto para la baliza PN del relé como para las señales de datos del usuario (p. ej., las señales del enlace descendente de retorno). En algunos casos, la demodulación coherente de la baliza PN de relé, proporciona la información de canal que se usa para eliminar la mayoría o todas estas deficiencias de la señal de datos de retorno. En algunos casos, la señal de baliza PN de relé es una secuencia PN conocida que se transmite de forma continua y se localiza en banda con los datos de comunicaciones. La potencia radiada isotrópica equivalente (o efectiva) (EIRP) de esta señal PN en banda, se configura de tal manera que la interferencia de los datos de comunicaciones no sea más grande que un máximo nivel aceptable. En algunos casos, un proceso de eliminación de deficiencias del enlace alimentador para el enlace de retorno involucra la demodulación y el rastreo coherente de la sincronización y fase recibidas de la señal de baliza PN de relé. Por ejemplo, el demodulador de señal de baliza de relé 2511 puede determinar los ajustes de fase y sincronización de la recepción 2512 para compensar las deficiencias del enlace del alimentador, mediante la comparación de la señal de baliza PN de relé con una señal de referencia local (p. ej., un oscilador local o PLL). Las diferencias de fase y sincronización recuperadas se eliminan entonces de la señal de enlace descendente de retorno (p. ej., mediante el ajuste de fase y sincronización de la recepción 4024), por lo tanto, se eliminan las deficiencias del enlace del alimentador de la señal de comunicaciones (p. ej., las señales de enlace descendente de retorno 527). Después de que se eliminan las deficiencias del enlace del alimentador, las señales del enlace de retorno de un haz tendrán un error común de frecuencia en todos los NA y, por lo tanto, será apropiado para la formación de haces. El error común de frecuencia puede incluir sin limitarse, a las contribuciones de los errores de frecuencia de terminal de usuario, Doppler de enlace ascendente de terminal de usuario, error de frecuencia de traslado de frecuencia de relé de extremo a extremo y error de frecuencia de baliza PN de relé.

En la dirección directa, la señal de baliza de nodo de acceso de cada NA puede usarse para ayudar a eliminar las deficiencias de enlace ascendente del alimentador. Las deficiencias del enlace ascendente del alimentador se impondrán sobre los datos de comunicaciones del enlace directo (p. ej., la señal de nodo de acceso específica) así como la señal de baliza de nodo de acceso. La demodulación coherente de la señal de baliza de nodo de acceso puede usarse para recuperar las diferencias de fase y sincronización de la señal de baliza de nodo de acceso (p. ej., con relación a la señal de baliza de relé). Las diferencias de fase y

sincronización recuperadas se eliminan de la señal de baliza de nodo de acceso transmitida de forma que la señal de baliza de nodo de acceso llega en fase con la señal de baliza de relé.

En algunos casos, el proceso de eliminación del enlace del alimentador directo es un lazo cerrado de fase (PLL) con el retardo de trayectoria desde el NA hasta el relé de extremo a extremo y de regreso dentro de la estructura del lazo. En algunos casos, el retardo de ida y vuelta desde el NA hasta el relé de extremo a extremo y de regreso al NA, puede ser significativo. Por ejemplo, un satélite geosíncrono, que funciona como un relé de extremo a extremo, generará un retardo de ida y vuelta de aproximadamente 250 milisegundos (ms). Para mantener este lazo estable en presencia de un retardo grande, puede usarse un ancho de banda de lazo muy pequeño. Para un retardo de 250 ms, el ancho de banda de lazo cerrado PLL puede ser, típicamente, menor de un Hz. En tales casos, pueden usarse osciladores de alta estabilidad, tanto en el satélite como en la AN, para mantener el bloqueo de fase confiable, como se indica mediante el bloque 2437 en la Figura 39 (ver más adelante).

En algunos casos, la señal de baliza de nodo de acceso es una señal de ráfaga que se transmite solamente 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. Puesto 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 transmite durante los datos de comunicación. Esto se debe a que no existe ninguna preocupación de causar interferencia con los datos de comunicaciones (los datos de comunicaciones no están presentes en este momento). Esta técnica permite una fuerte relación de señal a ruido (SNR) para la señal de baliza de nodo de acceso, cuando esta se transmite durante el intervalo de calibración. La frecuencia de ocurrencia de los intervalos de calibración es el recíproco 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 frecuencia de muestreo de este PLL de tiempo discreto. En algunos casos, la frecuencia de muestreo es lo suficientemente alta para soportar el ancho de banda de lazo cerrado del PLL con una cantidad insignificante de suavizado. El producto de la frecuencia de calibración (frecuencia de muestreo de lazo) y el intervalo de calibración representan la fracción de tiempo en que el relé de extremo a extremo no puede usarse para datos de comunicaciones sin interferencia adicional a partir de la señal de sonda para el sondeo del canal. En algunos casos, se usan valores menores de 0.1 y en algunos casos se usan valores menores de 0.01.

La Figura 39 es un diagrama de bloques de un ejemplo de un transceptor de NA 2409. La entrada 2408 al transceptor de NA 2409 recibe las señales de enlace de retorno de extremo a extremo, recibidas por el NA 515 (p. ej., para una entre una pluralidad de subbandas de frecuencia). La entrada 2408 se acopla a la entrada 2501 de un convertidor (D/C) descendente 2503. La salida del D/C

2503 se acopla a un convertidor analógico a digital (A/D) 2509. La salida del A/D 2509 se acopla a un elemento de ajuste de tiempo Rx 2515 y/o un elemento de ajuste de fase Rx 2517. El elemento de ajuste de tiempo Rx 2515 y el elemento de ajuste de fase Rx 2517 pueden ilustrar aspectos del elemento de ajuste de fase y sincronización de recepción 4024 de la Figura 38. El D/C 2503 es un convertidor descendente en cuadratura. Por consiguiente, el D/C 2503 produce una salida en fase y en cuadratura hacia el A/D 2509. Las señales recibidas pueden incluir señales de comunicaciones (p. ej., una compuesta de las señales de enlace ascendente de retorno transmitidas por las terminales de usuario), señales de baliza de nodo de acceso (p. ej., transmitidas desde el mismo NA y/u otros NA) y una señal de baliza de relé. Las muestras digitales se acoplan a un demodulador de la señal de baliza de relé 2511. El demodulador de la señal de baliza de relé 2511 demodula la señal de baliza de relé. Además, el demodulador de la señal de baliza de relé 2511 genera una señal de control de tiempo 2513 y una señal de control fase 2514, para eliminar las deficiencias del enlace del alimentador basadas en la señal de baliza de relé recibida. Tales deficiencias incluyen Doppler, un error de frecuencia de AN, efectos de centelleo, cambios de la longitud del trayecto, etc. Al realizar una demodulación coherente de la señal de baliza de relé, puede usarse un lazo cerrado de fase (PLL) para corregir la mayoría o todos estos errores. Por medio de la corrección de errores en la señal de baliza de relé, los errores correspondientes en las señales de comunicación y en las señales de baliza de nodo de acceso en el enlace alimentador, se corrigen además (p. ej., ya que estos errores son comunes en la señal de baliza de relé, las señales de baliza de nodo de acceso y las señales de comunicaciones). Después de eliminar las deficiencias del enlace del alimentador, la señal de comunicación de enlace de retorno de extremo a extremo desde una terminal de usuario 517 tienen nominalmente el mismo error de frecuencia en cada uno de los M NA 515. Esos errores comunes incluyen el error de frecuencia de terminal de usuario, el Doppler de enlace de usuario, el error de traslado de frecuencia de relé de extremo a extremo, y el error de frecuencia de señal de baliza de relé.

Las muestras digitales, con las deficiencias de enlace del alimentador eliminadas, se acoplan a un multiplexor 2518, que puede ser un ejemplo del multiplexor 4004 de la Figura 38. El multiplexor 2518 asocia (p. ej., marcas de tiempo) las muestras con la información de sincronización de relé 2520 a partir del demodulador de señal de baliza de relé 2511. La salida del multiplexor 2518 se acopla al puerto de salida 2410 del transceptor del NA 2409. El puerto de salida 2410 se acopla al multiplexor 2413 y a través de la interfaz 2415 (ver la Figura 40) al CPS 505. El CPS 505 puede usar después las marcas de tiempo asociadas con las muestras digitales recibidas para alinear las muestras digitales recibidas desde cada uno de los NA 515. Adicional o alternativamente, la eliminación de las deficiencias del enlace del 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 relé integrada, puede enviar desde el NA 15 al CPS 505, y el CPS 505 puede usar la información de tiempo de sincronización (p. ej., señal de baliza de relé

integrada) en cada una de las señales de retorno compuestas, para determinar los ajustes respectivos para las respectivas señales de retorno compuestas para compensar las deficiencias del canal de enlace descendente.

Una señal de baliza de nodo de acceso 2530 pueden generarse localmente mediante un generador de señal de baliza de nodo de acceso 2529. Un demodulador de señal de baliza de nodo de acceso 2519, demodula la señal de baliza de nodo de acceso mediante el NA 515 (p. ej., después de retransmitirse por el relé de extremo a extremo y recibirse en la entrada 2408). El demodulador de señal de baliza de relé 2511 proporciona la señal de información de fase y sincronización de relé recibida 2521 con un controlador 2523. El controlador 2523 recibe además una señal de información de fase y sincronización de la transmisión retransmitida 2525 a partir del demodulador de señal de baliza de nodo de acceso 2519. El controlador 2523 compara la información de fase y sincronización de relé recibida con la información de fase y sincronización de transmisión retransmitida y genera una señal de ajuste de tiempo aproximada 2527. La señal de ajuste de tiempo aproximada 2527 se acopla con el generador de señal de baliza de nodo de acceso 2529. El generador de señal de baliza de nodo de acceso 2529 genera la señal de baliza de nodo de acceso 2530 con una información de sincronización de la transmisión integrada para transmitirse desde el NA 515 al relé de extremo a extremo 503. Como se mencionó en la descripción anterior, la diferencia entre la información de fase y de sincronización (integrada en la señal de baliza) y la información de fase y sincronización de la transmisión (integrada en la señal de baliza de nodo de acceso) se usa para ajustar la información de fase y sincronización de la transmisión con la información de fase y sincronización de relé recibida. El tiempo aproximado se ajusta por la señal 2527 al generador de señal de baliza de nodo de acceso 2529 y el tiempo preciso se ajusta por la señal 2540 al dispositivo de ajuste de tiempo Tx 2539. Con la información de fase y sincronización de transmisión retransmitida 2525 desde el demodulador de señal de baliza de nodo de acceso 2519 sincronizada con la información de fase y sincronización de relé recibida 2521, el generador de señal de baliza de nodo de acceso 2529 genera las marcas de tiempo 2531 que asisten en la sincronización de la señal de baliza de nodo de acceso 2530 y la señal directa de nodo de acceso específico desde el CPS 505 que se transmite. Esto significa que, las muestras de datos desde el CPS 505 se reciben sobre el puerto de entrada 2423 junto con las marcas de tiempo 2535 que indican cuando las muestras de datos asociados se desean que lleguen al relé de extremo a extremo 503. Un módulo de suma, alineación en el tiempo y de almacenamiento 2537, almacena las muestras de datos acoplados a partir del CPS 505 y las suma con las muestras del generador de señal de baliza de nodo de acceso 2529 con base en las marcas de tiempo 2535, 2531. Las muestras PN y las muestras de datos de conmutación con tiempos idénticos, como se indica por las marcas de tiempo, se suman entre sí. En este ejemplo, las señales de haz múltiple ($x_k(n) * b_k$) se

suman entre sí en el CPS 505 y la señal directa de nodo de acceso específico que comprende un compuesto de las señales de haz múltiples se envían al NA mediante el CPS 505.

Cuando se alinean adecuadamente por los NA, las muestras de datos llegan al relé de extremo a extremo 503 en el tiempo deseado (p. ej., el mismo tiempo que las mismas muestras de datos que llegan de los otros NA). El dispositivo de ajuste de la transmisión 2539 realiza los ajustes de tiempo preciso con base en una señal de salida de controlador de tiempo preciso 2540 a partir del módulo de controlador de tiempo 2523. El dispositivo de ajuste de fase de transmisión 2541 realiza los ajustes de fase a la señal en respuesta a una señal de control de fase 2542 generada por el demodulador de señal de baliza de nodo de acceso 2519. El elemento de ajuste de tiempo de transmisión 2539 y el elemento de ajuste de fase 2541, por ejemplo, pueden ilustrar aspectos del compensador de fase y sincronización de la transmisión 4020 de la Figura 38.

La salida del dispositivo de ajuste de fase de transmisión 2541 se acopla a la entrada de un convertidor digital a analógico (D/A) 2543. La salida analógica en cuadratura del D/A 2543 se acopla a un convertidor en ascenso (U/C) 2545 para transmitirse a través de los HPA 2433 (ver Figura 40) hacia el relé de extremo a extremo 503. La señal de control de amplitud 2547 proporcionada por el demodulador de señal de baliza de nodo de acceso 2519, proporciona retroalimentación de amplitud al U/C 2545 para compensar los detalles como el desvanecimiento de lluvia de enlace ascendente.

En algunos casos, el código PN utilizado por cada NA para la señal de baliza de nodo de acceso 2530 es diferente que el que se usa en cada uno de los otros NA. En algunos casos, los códigos PN en las señales de baliza de nodo de acceso son cada uno diferentes del código PN de relé que se usa en la señal de baliza de relé. En consecuencia, cada NA 515 puede ser capaz de distinguir su propia señal de baliza de nodo de acceso de los de los otros NA 515. Los NA 515 pueden distinguir sus propias señales de baliza de nodo de acceso de la señal de baliza de relé.

Como se describió previamente, la ganancia de extremo a extremo desde cualquier punto en el área de cobertura hacia cualquier otro punto en el área es un canal de múltiples trayectos con L trayectos diferentes que pueden dar como resultado 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 eficaces para disminuir los desvanecimientos profundos y para permitir que trabajen los sistemas de comunicaciones. Sin embargo, para las señales de baliza de nodo de acceso, la diversidad de transmisión y de recepción, no está presente. Como resultado, el enlace punto a punto de una señal de lazo en retroceso, que es la transmisión de la señal desde un NA de regreso al mismo NA, puede experimentar que las ganancias de extremo a extremo sean muy inferiores al promedio. Valores de

20 dB por debajo del promedio pueden ocurrir con un gran número de trayectos de señal de recepción/ transmisión (L). Estas ganancias de extremo a extremo un poco bajas dan como resultado una menor SNR para estos NA y pueden hacer que el cierre de enlace sean un desafío. En consecuencia, en algunos casos, ganancias de antenas más alta se usan en los NA. Alternativamente, con referencia al transpondedor del ejemplo de la Figura 16, el dispositivo de ajuste de fase 418 puede incluirse en cada uno de los trayectos de la señal de transmisión/ recepción. El dispositivo de ajuste de fase 418 puede ajustarse individualmente por el controlador de desplazamiento de fase 427 (p. ej., bajo el control de un enlace de telemetría, rastreo y comando (TT&C) a desde un centro de control terrestre). Ajustar las fases relativas puede ser efectivo en el incremento de las ganancias de extremo a extremo de los trayectos de lazo de retorno de baja ganancia. Por ejemplo, un objetivo puede consistir en elegir las configuraciones de desplazamiento de fase para incrementar el valor de la ganancia de lazo en el peor de los casos (ganancias de un NA de regreso a ella misma). Nótese que la selección de las fases por lo general no varía la distribución de las ganancias, cuando se evalúan para todos los puntos en el área hacia todos los otros puntos en el área de cobertura, pero puede incrementar las ganancias de los trayectos de lazo de baja ganancia.

Para detallar, debe considerarse el conjunto de ganancias de cada uno de los M NA hacia todos los otros NA. Existen M^2 ganancias, de las cuales, solamente M de ellas son trayectos de lazo. Considérese dos distribuciones de ganancia, la primera es la distribución total de todos los trayectos (M^2) las que pueden estimarse mediante la compilación de un histograma de todos los M^2 trayectos. Para los NA distribuidos uniformemente sobre toda el área de cobertura, esta distribución puede ser representativa de la distribución de la ganancia de extremo a extremo desde cualquier punto hacia cualquier otro punto en el área de cobertura. La segunda distribución es la distribución de ganancia de lazo (distribución de lazo) que puede estimarse mediante la compilación de un histograma de solo los M trayectos de lazo. En muchos casos, la selección personalizada, de las configuraciones de fase de trayecto de señal de transmisión/ recepción (y, opcionalmente, los ajustes de ganancia) no proporcionan un cambio significativo a la distribución total. Este es especialmente el caso con un mapeo de transmisión aleatorio o intercalado para recibir elementos. Sin embargo, en la mayoría de los casos, la distribución de lazo puede mejorarse con la selección personalizada (en contraposición a los valores aleatorios) de las configuraciones de fase (y opcionalmente de las ganancias). Esto se debe a que el conjunto de ganancias de lazo consta de M trayectos (a diferencia de los M^2 trayectos totales) y el número de grados de libertad en los ajustes de fase y ganancia es L . Frecuentemente L está en el mismo orden que M , lo que permite una mejora significativa en las ganancias de lazo bajo con una selección de fase personalizada. Otra forma de ver esto es que, en la selección de fase personalizada, no es necesario eliminar las ganancias de extremo a extremo bajas, sino más bien moverlas a partir del conjunto de ganancias de lazo (M miembros en el conjunto) al

conjunto de ganancias de no lazo (M^2 - M miembros). Para valores no triviales de M , el conjunto más grande es frecuentemente más grande que el anterior.

Un NA 515 puede procesar una o más subbandas de frecuencia. La Figura 40 es un diagrama de bloques de un ejemplo de NA 515 en el cual múltiples subbandas de frecuencia se procesan por separado. En el enlace de retorno de extremo a extremo 523 (ver Figura 5), el NA 515 recibe las señales de enlace descendente de retorno 527 a partir del relé de extremo a extremo 503 a través del amplificador de ruido bajo (LNA) 2401. Las señales amplificadas se acoplan a partir del LNA 2401 a un divisor de potencia 2403. El divisor de potencia 2403 divide la señal en múltiples señales de salida. Cada señal es la salida en uno de los puertos de salida 2405, 2407, del divisor de potencia 2403. Uno de los puertos de salida 2407 puede proporcionarse como un puerto de prueba. Los otros puertos 2405 se acoplan a una entrada 2408 de uno de los correspondientes transceptores de NA múltiples 2409 (solo se muestra uno). Los transceptores de NA 2409 procesan las señales recibidas en las correspondientes subbandas. El transceptor de NA 2409 realiza varias funciones, descritas en detalle anteriormente. Las salidas 2410 de los transceptores de NA 2409 se acoplan a los puertos de entrada de 2411 de un multiplexor de subbanda 2413. Las salidas se combinan en el multiplexor de subbanda 2413 y salen a una interfaz de red de distribución 2415. La interfaz 2415 proporciona una interfaz para los datos desde/ hacia los NA 515 hacia/ desde el CPS 505, sobre la red de distribución (ver la Figura 5). El procesamiento de las subbandas de frecuencia puede ser ventajoso en la reducción de los requerimientos de rendimiento en los componentes de RF utilizados para implementar el relé de extremo a extremo y la NA. Por ejemplo, mediante la división de 3,5 GHz de ancho de banda (p. ej.o, como el que puede usarse en un sistema de banda Ka) en siete subbandas, cada subbanda tiene un ancho de solo 500 MHz. Esto significa que, cada una de las señales directas de nodo de acceso específico puede incluir múltiples subbandas asociadas con las diferentes subbandas (p. ej., asociadas con los diferentes subconjuntos de las áreas de cobertura de haz directo de usuario) y los transceptores de NA 2409 pueden convertir hacia arriba las señales secundarias a diferentes frecuencias portadoras. Esta división de ancho de banda puede permitir que se utilicen componentes de tolerancia inferiores, ya que las variaciones de fase y amplitud entre las diferentes subbandas pueden compensarse por las ponderaciones de formación de haces separados, calibración, etc. Para las diferentes subbandas. Por supuesto, otros sistemas pueden usar diferentes números de subbandas y/o puertos. Algunos casos, puede usar una sola subbanda y puede no incluir todos los componentes mostrados en la presente descripción (p. ej., al omitir el divisor de potencia 2403 y el multiplexor 2413).

En el enlace directo de extremo a extremo 501, se reciben datos del CPS 505 por la interfaz 2415. Los datos recibidos se acoplan a una entrada 2417 de un desmultiplexor de subbanda 2419. El desmultiplexor de subbandas 2419 divide los datos en múltiples señales de datos. Las señales de datos se acoplan desde los puertos de salida 2421 del desmultiplexor de las subbandas 2419 a los puertos de entrada 2423 de los transceptores de NA 2409. Los puertos de

salida 2425 de los transceptores de NA 2409 se acoplan a los puertos de entrada 2427 del módulo sumador 2429. El módulo sumador 2429 suma las señales de salida de los siete transceptores de NA 2409. Un puerto de salida 2431 del módulo sumador 2429 acopla la salida del módulo sumador 2429 al puerto de entrada 2433 de un amplificador de alta potencia (HPA) 2435. La salida del HPA 2435 se acopla a una antena (no se muestra) que transmite las señales de salida al relé de extremo a extremo 503. En algunos casos, un oscilador ultra estable 2437 se acopla a los transceptores de NA 2409 para proporcionar una fuente de frecuencia de referencia estable.

Cálculo de la ponderación del haz

Otra vez con referencia a la Figura 8, que es un ejemplo de la descripción de las señales en el enlace de retorno, puede usarse un modelo matemático del enlace de retorno de extremo a extremo para describir el vínculo como:

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

en donde,

$\mathbf{x}$ es el vector 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 (potencia de transmisión igual). En algunos casos, esto no siempre será el caso.

$\mathbf{y}$ es el vector 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_{lk} contiene la ganancia y fase del trayecto desde una posición de referencia, situada en un haz K al $j^{\text{ésimo}}$ (la letra "ele") elemento de antena de recepción 406 en el arreglo Rx. En algunos casos, los valores de la matriz de radiación de enlace de retorno ascendente se almacenan en el almacenamiento de datos del canal 941 (ver Figura 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 $j^{\text{ésimo}}$ elemento de antena 406 en el arreglo de recepción hacia un $i^{\text{ésimo}}$ elemento de antena 409 en el arreglo de transmisión. En algunos casos, aparte de una diafonía incidental entre los trayectos (que resulta del aislamiento finito de la electrónica), la matriz $\mathbf{E}$ es una matriz diagonal. La matriz $\mathbf{E}$ puede normalizarse de tal manera que la suma de la magnitud al cuadrado de todos los elementos de la matriz es L . En algunos casos, los valores de la matriz de carga útil se almacenan en el almacenamiento de datos del canal 941 (ver Figura 29).

Ct es la matriz de radiación de enlace descendente de retorno $M \times L$. El elemento c_{ml} contiene la ganancia y la fase del trayecto a partir del $l^{\text{ésimo}}$ (la letra "le") elemento de antena en el arreglo Tx con un $m^{\text{ésimo}}$ NA 515 desde una cantidad de M NA 515. En algunos casos, los valores de la matriz de radiación de enlace de retorno descendente se almacenan en el almacenamiento de datos del canal 941 (ver Figura 29).

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

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

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

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

Los ejemplos se describieron anteriormente de forma general (p. ej., con referencia a las figuras 6 - 11) de una manera que asume ciertas similitudes entre los canales multitrayectos de extremo a extremo directo y de retorno. Por ejemplo, las matrices de canal de retorno y directa se describieron anteriormente con referencia a M , K , **E** y otros modelos. Sin embargo, estas descripciones pretenden solamente simplificar la descripción para agregar mayor claridad y no pretenden limitar los ejemplos solo a los casos con configuraciones idénticas en las direcciones de retorno y directa. Por ejemplo, en algunos casos, los mismos transpondedores se usan tanto para el tráfico directo como el de retorno, y la matriz de carga útil **E** puede ser la misma tanto como para la formación de haces de extremo a extremo de retorno como directa (y los cálculos correspondientes de ponderación de haz), en consecuencia. En otros casos, diferentes transpondedores se usan para el tráfico directo y de retorno y una matriz de carga útil directa (**Efwd**) y una matriz de carga útil de retorno (**Eret**) pueden usarse para modelar los canales multitrayectos de extremo a extremo correspondientes y para calcular las ponderaciones de haz correspondientes. De manera similar, en algunos casos, los mismos M NA 515 y las K terminales de usuario 517 se consideran parte de tanto los canales multitrayectos de extremo a extremo de retorno como directo. En otros casos, M y K pueden referirse a diferentes subconjuntos de NA 515 y/o terminales de usuario 517 y/o cantidades distintas de NA 515 y/o terminales de usuario 517, en las direcciones de retorno y directas.

Las ponderaciones de haz pueden calcularse de varias maneras para satisfacer los requerimientos del sistema. En algunos casos, éstos se calculan después del despliegue del relé de

extremo a extremo. En algunos casos, la matriz de carga útil **E** se mide antes del despliegue. En algunos casos, las ponderaciones de haz se calcularon con el objetivo de aumentar la señal a interferencia más ruido (SINR) de cada haz, y puede calcularse de la siguiente manera:

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

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

en donde **R** es la covarianza de la señal recibida y $(*)^H$ es el operador de la transpuesta conjugada (Hermitiano).

El elemento k, m de la matriz **Bret** de ponderación de haz de retorno $K \times M$, proporciona los ponderaciones para formar el haz al $m^{\text{ésimo}}$ NA 515 desde una terminal de usuario en el $k^{\text{ésimo}}$ haz de usuario. En consecuencia, en algunos casos, cada una de las ponderaciones de haz de retorno que se usan para formar los haces de retorno de usuario, se calcula mediante la estimación de ganancias de retorno de extremo a extremo (es decir, los elementos de la matriz de canal **Hret**) para cada uno de los canales multitrayectos de extremo a extremo (p. ej., cada uno de los canales de multitrayectoria de retorno de extremo a extremo).

La EC. 2 es válida en donde **R** es la covarianza de la señal recibida como se proporciona en la EC. 3. Por lo tanto, cuando todas las matrices de las EC. 1, 2 y 3 se conocen, las ponderaciones de haz utilizadas para formar los haces de extremo a extremo pueden determinarse directamente.

Este conjunto de ponderaciones de haz reduce el error medio cuadrático entre **x** y **y**. Se incrementa, además, la relación de la señal de extremo a extremo con el ruido más interferencia (SINR) para cada una de las K señales de enlace de retorno de extremo a extremo 525 (que se originan a partir de 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 (el cual no se correlaciona). El primer 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 se correlaciona en los NA). El tercer término $\mathbf{H} \mathbf{H}^H$ en la EC. 3 es la covarianza de la señal. Mediante el ajuste de la varianza del ruido de enlace ascendente a cero e ignorando el último término ($\mathbf{H} \mathbf{H}^H$), resulta un conjunto de ponderaciones que incrementan la relación señal con el ruido de enlace descendente, mediante la alineación de fase las señales recibidas de cada uno de los M NA 515. Mediante el ajuste de la varianza de ruido de enlace descendente a cero e ignorando el 3.º término, resulta en un conjunto de ponderaciones que incrementan la SINR del enlace ascendente. Mediante el ajuste de tanto la

varianza de ruido de enlace descendente como del ascendente a cero, resulta en un receptor no correlacionado que incrementa la relación de portadora a interferencia (C/I).

En algunos casos, las ponderaciones de haz se normalizan para realizar la suma de la magnitud al cuadrado de cualquiera de las filas de la suma **Bret** a la unidad.

En algunos casos, la solución para la EC. 2 se determina mediante un conocimiento *previo* de las matrices **Ar**, **Ct**, y **E**, así como las variaciones de los vectores de ruido **n_{ul}** y **n_{dl}**. El conocimiento de los valores de elemento de las matrices puede obtenerse durante las mediciones realizadas durante la fabricación y prueba de los componentes relevantes del relé de extremo a extremo. Esto puede funcionar bien para sistemas en donde no se esperan que los valores en las matrices cambien significativamente durante el funcionamiento del sistema. Sin embargo, para algunos sistemas, en especial los que operan en las bandas de frecuencia superiores, tales expectativas pueden no estar presentes. En tales casos, las matrices **Ar**, **Ct** y **E** pueden estimarse después del despliegue de un artefacto (tal como un satélite) en los cuales se dispone el relé de extremo a extremo.

En algunos casos, en los que la información *previa* no se usa para establecer las ponderaciones, la solución a la EC. 2 puede determinarse mediante la estimación de los valores de **R** y **H**. En algunos casos, las terminales de usuario designadas 517 en el centro de cada área de cobertura de haz de usuario 519 transmite señales conocidas **x** durante los periodos de calibración. El vector recibido en NA 515 es:

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

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

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

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

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

$\hat{\mathbf{R}}$ es una estimación de la matriz de covarianza **R**, $\hat{\mathbf{H}}$ es una estimación de la matriz del canal **H** y $\tilde{x}_k$ es una estimación del vector de correlación, $\tilde{x}_k$ es el conjugado de los $k^{\text{ésimos}}$ componentes del vector transmitido con el error de frecuencia introducido por la transmisión de enlace ascendente. En

algunos casos, no se transmite ningún dato de comunicaciones durante el período de calibración. Es decir, únicamente las señales de calibración que se conocen por los NA se transmiten en el enlace de retorno de extremo a extremo durante el período de calibración para permitir que se determine el valor de $\hat{\mathbf{H}}$ a partir del vector $\mathbf{u}$ recibido mediante el uso de la ecuación anterior. Esto a su vez permite la determinación del valor de $\hat{\mathbf{H}}$. Tanto la estimación de la matriz de covarianza $\hat{\mathbf{R}}$ como la estimación de la matriz de canal $\hat{\mathbf{R}}$ se determinan con base en las señales recibidas durante el periodo de calibración.

En algunos casos, el CPS 505 puede estimar la matriz de covarianza $\hat{\mathbf{R}}$ mientras estén presentes los datos de comunicaciones (p. ej., incluso cuando se desconoce $\mathbf{x}$). Esto puede observarse en el hecho de que $\hat{\mathbf{R}}$ se determina en base únicamente a la señal recibida $\mathbf{u}$. Sin embargo, el valor de $\hat{\mathbf{R}}$ se estima en base a las señales recibidas durante un período de calibración, en el que solo se transmiten señales de calibración en el enlace de retorno.

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

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

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

en donde s_{kj} son los elementos de **Bret H**. El ruido del 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 $k^{\text{ésimo}}$ elemento de la diagonal de la matriz de covarianza contiene la potencia de ruido de enlace ascendente

en un haz k . La relación de la señal de enlace ascendente a ruido para un haz k se calcula entonces como:

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

donde t_{kk} es el $k^{\text{ésimo}}$ elemento de la diagonal de la matriz de covarianza del enlace ascendente. El ruido del enlace descendente está contenido en el vector **Bret** $\mathbf{n}_{dl}$, 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:

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

El SINR de extremo a extremo es la combinación de las 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 como calcular el SINR de extremo a extremo dado para la matriz de carga útil E . La matriz de carga útil puede construirse por medio de 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 de la diagonal de E que optimizan alguna métrica útil (que generalmente, es una función de los K SINR de haz como se calculó anteriormente) pueden seleccionarse e implementarse mediante el ajuste del elemento de desplazamiento de fase 418 en cada uno de los L transpondedores 411. Las funciones utilitarias de candidato incluyen sin limitarse a, la suma de los SINR_k (total SINR), la suma de $\text{Log}(1+\text{SINR}_k)$ (proporcional al rendimiento total) o potencia total en el matriz del canal, H . En algunos casos, la mejora en la utilidad de la función mediante la personalización de las ganancias y las fases es muy pequeña e insignificante. Este es el caso cuando se usan las asignaciones aleatorias o intercaladas de los elementos de antena. En algunos casos, la función utilitaria puede mejorarse por una cantidad no trivial, mediante la selección personalizada de la ganancia y la fase de la señal de recepción/ transmisión.

Regresando a la Figura 9, puede usarse un modelo matemático de un enlace directo de extremo a extremo 501 para describir el enlace 501 como:

$$\begin{aligned} \mathbf{y} &= \mathbf{A_t E} \left[\mathbf{C_r B_{fwd}} \mathbf{x} + \mathbf{n_{ul}} \right] + \mathbf{n_{dl}} \\ &= \mathbf{H_{fwd}} \mathbf{B_{fwd}} \mathbf{x} + \mathbf{A_t E n_{ul}} + \mathbf{n_{dl}} \end{aligned} \quad \text{EC. 12}$$

en donde,

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

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

$\mathbf{C_r}$ es la matriz de radiación de enlace ascendente directo $L \times M$. El elemento c_{lm} contiene la ganancia y la fase del trayecto 2002 desde el $m^{\text{ésimo}}$ NA 515 hasta el $l^{\text{ésimo}}$ (letra "ele") elemento de antena 406 del arreglo de antenas Rx en el relé de extremo a extremo 503. En algunos casos, los valores de la matriz de radiación de enlace ascendente directo se almacenan en el almacenamiento de datos del canal 921 (ver Figura 29).

$\mathbf{E}$ es la matriz de carga útil $L \times L$. El elemento e_{ij} define la ganancia y la fase de la señal desde el $j^{\text{ésimo}}$ elemento de antena del arreglo de recepción hasta el $i^{\text{ésimo}}$ elemento de antena del arreglo de transmisión. Aparte de una diafonía incidental entre los trayectos (que resulta del aislamiento finito de la electrónica), la matriz $\mathbf{E}$ es una matriz diagonal. En algunos casos, la matriz $\mathbf{E}$ puede normalizarse de tal manera que la suma de la magnitud al cuadrado de todos los elementos de la matriz es L . En algunos casos, los valores de la matriz de carga útil se almacenan en el almacenamiento de datos del canal 921 (ver Figura 29).

$\mathbf{A_t}$ es la matriz de radiación de enlace descendente directo $K \times L$. El elemento a_{kl} contiene la ganancia y la fase del trayecto desde el elemento de antena L (letra "ele") en el arreglo Tx del relé de extremo a extremo 503 hacia una ubicación 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 de datos del canal 921 (ver Figura 29).

$\mathbf{H_{fwd}}$ es la matriz de canal directa $K \times M$, que es igual al producto $\mathbf{A_t E C_r}$.

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

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

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

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

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

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

Bfwd es la matriz de las ponderaciones de haz $K \times M$ de las ponderaciones de haz de enlace directo de extremo a extremo.

Las ponderaciones de haz para un haz de usuario k son los elementos en la columna k de **Bfwd**. A diferencia del enlace de retorno, el C/I para el haz k no se determina por las ponderaciones de haz para el haz k . Las ponderaciones de haz para el haz k determinan la tasa de señal del enlace ascendente al ruido (SNR) y la SNR del enlace descendente, así como la potencia de la portadora (C) en C/I. Sin embargo, la potencia de interferencia en el haz k se determina por las ponderaciones de haz para todos los otros haces, excepto para un haz k . En algunos casos, la ponderación de haz para un haz k se selecciona para aumentar la SNR. Además, tales ponderaciones de haz aumentan C/I para el haz k , dado que C se incrementa. Sin embargo, la interferencia puede generarse para los otros haces. Por lo tanto, a diferencia del caso del enlace de retorno, las ponderaciones de haz óptimas no se calculan con base a un haz por haz (independiente de otros haces).

En algunos casos, las ponderaciones de haz (que incluye las matrices de radiación y carga útil utilizadas para calcularlas) se determinan después del despliegue del relé 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 mediante la interferencia generada en el resto de los haces por un haz k y contar, a medida que aumenta la interferencia en el haz k . Aunque es posible que este enfoque no calcule las ponderaciones de haz óptimas, puede usarse para simplificar el cálculo de la ponderación. Esto permite que se determinen un conjunto

de ponderaciones para cada haz independiente de todos los otros haces. Las ponderaciones de haz directo resultantes se calculan similar a las ponderaciones de haz de retorno:

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

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

El primer término

$$2\sigma_{\text{dl}}^2 \mathbf{I}_K$$

en la EC. 14 es la covarianza del ruido de enlace descendente (no correlacionados). El segundo término

$$2\sigma_{\text{ul}}^2 \mathbf{A}_t \mathbf{E} \mathbf{E}^H \mathbf{A}_t^H$$

es la covarianza del ruido de enlace ascendente (que se correlaciona en los NA). El tercer término $\mathbf{H} \mathbf{H}^H$ es la covarianza de la señal. Al configurar la varianza del ruido de enlace ascendente a cero e ignorar el último término ($\mathbf{H} \mathbf{H}^H$) resulta en un conjunto de ponderaciones que incrementan la razón de ruido de enlace descendente a señal por la alineación de fase de las señales recibidas en los M NA 515. Mediante el ajuste de la varianza de ruido de enlace descendente a cero e ignorando el 3.º término, resulta en un conjunto de ponderaciones que incrementan la SNR del enlace ascendente. Mediante el ajuste de tanto la variancia de ruido de enlace descendente como del ascendente a cero, resulta en un receptor no correlacionado que incrementa la relación C/I. Para el enlace directo, el ruido del enlace descendente y la interferencia generalmente predominan. Por lo tanto, estos términos son, por lo general, 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, para simplificar aún más los cálculos mientras se mantienen un conjunto de ponderaciones de haz que incrementan la SINR de extremo a extremo.

Al igual que con el enlace de retorno, las ponderaciones de haz pueden normalizarse. Para las ponderaciones de haz de transmisor con igual potencia disponible para todas las señales de enlace directo K , cada columna de **Bfwd** puede escalarse de forma que la suma de la magnitud al cuadrado de los elementos en cualquier columna sumará la unidad. Compartir la misma potencia brindará a cada una de las señales la misma fracción de la potencia total de NA (potencia total desde todas los NA disponibles hacia la señal x_k). En algunos casos, para los enlaces directos, se implementa una distribución desigual de la potencia entre las señales de enlace directo. En consecuencia, en algunos casos, algunas de las señales de haz obtienen más que la distribución igualitaria de la potencia total de NA. Esto puede ser útil para distribuir la SINR en todos los haces o para brindarle a los haces más importante mayor SINR que a los haces menos importantes. Para crear las ponderaciones de haz para distribuciones desiguales de potencia, la matriz de ponderación de haz de igual potencia $M \times K$, **Bfwd**, se multiplica posteriormente por una matriz diagonal $K \times K$, **P**, por lo que la nueva **Bfwd** = **Bfwd P**. Dejar

$$\mathbf{P} = \text{Diag.} \left(\sqrt{p_k} \right),$$

después, los valores cuadrados del $k^{\text{ésimo}}$ elementos de la diagonal representan la potencia distribuida en la señal de usuario x_k . La matriz de distribución de potencia **P** se normaliza de forma que la suma o el cuadrado de los elementos de la diagonal sea igual a K (los elementos de la diagonal no principal son cero).

En algunos casos, la solución para la EC. 13 se determina mediante un conocimiento *previo* de las matrices **At**, **Cr**, y **E**, así como las variaciones de los vectores de ruido **n_{ul}** y **n_{dl}**. En algunos casos, el conocimiento de las matrices puede obtenerse durante las mediciones realizadas durante la fabricación y prueba de los componentes relevantes del relé de extremo a extremo. Esto puede funcionar bien para sistemas donde no se esperan que los valores en las matrices cambien significativamente a partir de lo medido durante el funcionamiento del sistema. Sin embargo, para algunos sistemas, en especial los que operan en las bandas de frecuencia superiores, esto puede no ser el caso.

En algunos casos en donde la información *previa* no se usa para establecer las ponderaciones, los valores de **R** y **H** para el enlace directo pueden estimarse para determinar la solución de la EC. 13. En algunos casos, los NA transmiten una sonda de prueba de canal durante los períodos de calibración. Las sondas de pruebas de canal pueden ser de diferentes tipos de señales. En un caso, se transmiten secuencias PN conocidas y ortogonales, diferentes, mediante cada NA. Las sondas de pruebas de canal pueden corregirse previamente en tiempo, frecuencia y/o

fase para eliminar las deficiencias del enlace de alimentador (como se describió anteriormente). Todos los datos de comunicación pueden desactivarse durante el intervalo de calibración para reducir la interferencia a la sonda de pruebas de canal. En algunos casos, las sondas de pruebas de canal pueden ser las mismas señales que las que se usan para eliminar las deficiencias del enlace de alimentador.

Durante el intervalo de calibración, una terminal en el centro de cada haz puede designarse para recibir y procesar las sondas de prueba del canal. El vector $K \times 1$, $\mathbf{u}$, de las señales recibidas durante el periodo de calibración es $\mathbf{u} = \mathbf{H} \mathbf{x} + \mathbf{A} \mathbf{t} \mathbf{E} \mathbf{n}_{ul} + \mathbf{n}_{dl}$, en donde $\mathbf{x}$ es el vector $M \times 1$ de la sonda de prueba de canal transmitida. En algunos casos, cada terminal designada elimina primeramente el error de frecuencia incidental (que resulta del desplazamiento Doppler y el error de oscilador terminal) y luego correlaciona la señal resultante con cada una de las secuencias PN ortogonales conocidas de M . 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 la terminal en el centro del $k^{\text{ésimo}}$ haz pueden usarse para formar la $k^{\text{ésima}}$ fila de la matriz de canal, $\hat{\mathbf{H}}$. Mediante el uso de las mediciones de todas las terminales designadas de K , se obtiene un cálculo de la totalidad de la matriz del canal. En muchos casos, es útil combinar la medición de múltiples intervalos de calibración para mejorar la estimación de la matriz del canal. Una vez que se determina el estimado de la matriz de canal, un estimado de la matriz de covarianza, $\hat{\mathbf{R}}$, puede determinarse de la EC. 14 mediante el uso de un valor de 0 para el segundo término. Este puede ser una estimación muy exacta de la matriz de covarianza de ruido, si el enlace ascendente (el segundo término en la EC. 14) es insignificante en relación con el ruido de enlace descendente (el primer término en la EC. 14). Las ponderaciones de haz de enlace directo pueden calcularse entonces mediante el uso de los estimados de la matriz del canal y la matriz de covarianza en la EC. 13. En consecuencia, en algunos casos, el cálculo de las ponderaciones de haz comprende la estimación de las ganancias directas de extremo a extremo (es decir, los valores de los elementos de la matriz de canal $\mathbf{H}_{fwd}$) para cada uno de los canales multirayectos directos de extremo a extremo entre un NA 515 y una ubicación de referencia en un área de cobertura de haz de usuario. En otros casos, el cálculo de las ponderaciones de haz comprende la estimación de las ganancias directas de extremo a extremo para los canales multirayectos directos de extremo a extremo $K \times M$ desde los M NA 515 a las ubicaciones de referencia dentro de las K áreas de cobertura de haz de usuario.

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

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

en donde s_{kj} son los elementos de $\mathbf{H B fwd}$. El ruido del enlace ascendente está contenido en el vector $\mathbf{A}_t \mathbf{E n}_{ul}$, que tiene una matriz de covarianza de $K \times K$ de

$$2\sigma_{ul}^2 \mathbf{A}_t \mathbf{E} \mathbf{E}^H \mathbf{A}_t^H.$$

El $k^{ésimo}$ elemento de la diagonal de la matriz de covarianza contiene la potencia de ruido de enlace ascendente en un haz k . La relación de la señal de enlace ascendente a ruido para un haz k se calcula entonces como:

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

en donde t_{kk} es el $k^{ésimo}$ elemento de la diagonal de la matriz de covarianza del enlace ascendente. El ruido del enlace descendente está contenido en el vector $\mathbf{n}_{dl}$, que tiene una covarianza de

$$2\sigma_{dl}^2 \mathbf{I}_K.$$

Por lo tanto, la relación señal de enlace descendente a ruido es:

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

El SINR de extremo a extremo es la combinación de las 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 como calcular la SINR de extremo a extremo dado una matriz de carga útil **E**. La matriz de carga útil puede construirse mediante una opción inteligente de la ganancia y las fases de cada elemento de **E**. La ganancia y la fase de los elementos diagonales de **E** que optimizan alguna utilidad métrica (que es, generalmente, una función de la SINR del haz K , como se calculó anteriormente) puede seleccionarse e implementarse mediante la configuración del desplazamiento de fase 418 en cada uno de los L transpondedores 411. Las funciones utilitarias de candidato incluyen sin limitarse a, la suma de los SINR K (total SINR), la suma de $\text{Log}(1+\text{SINR}_K)$ (proporcional al rendimiento total) o potencia total en el matriz del canal, **H**. En algunos casos, la mejora en la utilidad de la función mediante la personalización de las ganancias y las fases es muy pequeña e insignificante. Este es el caso cuando se usan las asignaciones aleatorias o intercaladas de los elementos de antena. En algunos casos, la función utilitaria puede mejorarse por una cantidad no trivial, mediante la selección personalizada de la ganancia y la fase de la señal de recepción/ transmisión.

Áreas de cobertura diferentes

Algunos ejemplos descritos anteriormente suponen que el relé de extremo a extremo 503, se diseña para prestar servicio a una sola área de cobertura compartida tanto por las terminales de usuario 517 como por los NA 515. Por ejemplo, algunos casos describen un satélite que tiene un sistema de antenas que irradia un área de cobertura satelital y tanto los NA como las terminales de usuario se distribuyen geográficamente en toda el área de cobertura satelital (p. ej., como en la Figura 27). El número de haces que pueden formarse en el área de cobertura satelital, y los tamaños (de las áreas de cobertura del haz) de estos haces, pueden afectarse por los aspectos del diseño del sistema de antena, tal como cantidad y disposición de los elementos de antena, tamaño del reflector, etc. Por ejemplo, al realizar una capacidad muy grande, puede involucrar un despliegue de una cantidad de NA más grande (p. ej., cientos) con la suficiente separación entre los NA para permitir la formación de haces de extremo a extremo. Por ejemplo, como se mencionó anteriormente en relación con la Figura 28, al aumentar la cantidad de NA puede aumentar la capacidad del sistema, aunque con rendimientos decrecientes a medida que la cantidad se incrementa. Cuando un sistema de antenas soporta tanto a las terminales de usuario, como a los NA, lograr dicha implementación con suficiente separación entre los NA puede forzar a una distribución geográfica muy amplia de los NA (p. ej., través de

toda el área de cobertura satelital, como en la Figura 27). Prácticamente, lograr dicha distribución puede implicar colocar los NA en lugares no deseados, tal como en áreas con pobre acceso a una red de alta velocidad (p. ej., una pobre infraestructura de fibra de regreso al CPS 505, uno o más océanos, etc.), múltiples ordenamientos jurídicos, en áreas altamente pobladas y/o costosas, etc. Por consiguiente, la colocación de un NA frecuentemente implica varias negociaciones.

Algunos ejemplos de relé de extremo a extremo 503 se diseñan con múltiples sistemas de antena, lo que permite separar el mantenimiento de dos o más áreas de cobertura diferentes a partir de un solo relé de extremo a extremo 503. Como se describe más adelante, el relé de extremo a extremo 503 puede incluir por lo menos un primer sistema de antena que brinda servicio a un área de cobertura de AN, y por lo menos un segundo sistema de antenas que brindan servicio a un área de cobertura de usuario. Debido a que las áreas de cobertura de NA y de terminal de usuario se sirven mediante diferentes sistemas de antena, cada sistema de antena puede diseñarse para satisfacer diferentes parámetros de diseño, y cada área de cobertura puede ser, al menos parcialmente distinta (p. ej., en la geografía, en tamaño y/o densidad del haz, en banda de frecuencia, etc.). Por ejemplo, la utilización de tal enfoque de sistema de múltiples antenas puede permitir que las terminales de usuario se distribuyan sobre una superficie relativamente grande de un área geográfica (p. ej., la totalidad de los Estados Unidos) para reciba servicio mediante una gran cantidad de NA distribuidas sobre un área geográfica relativamente pequeña (p. ej., una porción de los Estados Unidos). Por ejemplo, el área de cobertura de NA puede ser una fracción (p. ej., menor que la mitad, menor que un cuarto, menor que una quinta parte, menor que una décima parte) del área de cobertura de usuario en un área física.

La Figura 41 es una ilustración de un ejemplo del sistema de formación de haces de extremo a extremo 3400. El sistema 3400 es un sistema de formación de haces de extremo a extremo que incluye: una pluralidad de nodos de acceso distribuidos geográficamente (NA) 515; un relé de extremo a extremo 3403); y una pluralidad de terminales de usuario 517. El relé de extremo a extremo 3403 puede ser un ejemplo de un relé de extremo a extremo 503 descrito en la presente descripción. Los NA 515 se distribuyen geográficamente en un área de cobertura de NA 3450, las terminales de usuario 517 se distribuyen geográficamente en un área de cobertura de usuario 3460. El área de cobertura de NA 3450 y el área de cobertura de usuario 3460, están dentro de un área de cobertura de relé de extremo a extremo 3403, pero el área de cobertura de NA 3450 es diferente del área de cobertura de usuario 3460. En otras palabras, el área de NA no es la misma que el área de cobertura de usuario, sino más bien tienen un área sustancial (no trivial) que no se superponen con el área de cobertura de usuario (p. ej., más de un cuarto, la mitad, etc. del área de cobertura de NA). Por ejemplo, en algunos casos, al menos la mitad del área de cobertura de usuario no se superpone con el área de cobertura de NA. Como se describió

anteriormente (p. ej., en la Figura 5), los NA 515 pueden proporcionar señales a través de una red de distribución 518 hacia un CPS 505 dentro de un segmento terrestre 502, y el CPS 505 puede conectarse a la fuente de datos.

El relé de extremo a extremo 3403 incluye un subsistema separado de antena de enlace de alimentador 3410 y un subsistema de antena de enlace de usuario 3420. Cada subsistema de antena de enlace de alimentador 3410 y subsistema de antena de enlace de usuario 3420 es capaz de soportar la formación de haces de extremo a extremo. Por ejemplo, como se describe más adelante, cada subsistema de antena puede tener su(s) propio(s) arreglo(s) de elementos de antena cooperativos, su propio reflector(es), etc. El subsistema de antena de enlace de alimentador 3410 puede incluir un arreglo de elementos de recepción constituyentes de enlace de alimentador cooperativos 3416 y un arreglo de elementos de transmisión constituyentes de enlace de alimentador cooperativos 3419. El subsistema de antena de enlace de usuario 3420 puede incluir un arreglo de elementos de recepción constituyentes de enlace de usuario cooperativos 3426 y un arreglo de elementos de transmisión constituyentes de enlace de usuario cooperativos 3429. Los elementos constituyentes son "cooperativos" en el sentido de que el arreglo de tales elementos constituyentes tiene características que realizan su respectivo subsistema de antena adecuado para la utilización en un sistema de formación de haces. Por ejemplo, un elemento de recepción constituyente de enlace de usuario dado 3426 puede recibir una composición superpuesta de las señales de enlace ascendente de retorno a partir de múltiples áreas de cobertura de haz de usuario 519 (p. ej., todas) de una manera que contribuye a la formación de los haces de usuario de retorno. Un elemento de transmisión constituyente del enlace de usuario 3429 puede transmitir una señal de enlace descendente directo en una manera que se superpone con las transmisiones correspondientes a partir de otros elementos de transmisión constituyentes de enlace de usuario 3429 para formar algunos de todos los haces directos de usuario. Un elemento de recepción constituyente de enlace de alimentador 3416 puede recibir una composición superpuesta de señales de enlace ascendente directo a partir de múltiples NA 515 (p. ej., todas) en una manera que contribuye a la formación de haces directos de usuario (p. ej., mediante la inducción de múltiples trayectos en el relé de extremo a extremo 3403). Un elemento de transmisión constituyente de enlace de alimentador dado 3419 puede transmitir una señal de enlace descendente de retorno de una manera que se superponga con las transmisiones correspondientes de otros elementos de transmisión constituyentes de enlace del alimentador 3419 para contribuir a la formación de algunos o todos los haces de usuario de retorno (p. ej., al permitir que los NA 515 reciban las señales de retorno compuestas que pueden ponderarse en relación al haz para formar los haces de usuario de retorno).

El relé de extremo a extremo ilustrativo 3403 incluye una pluralidad de transpondedores de enlace directo 3430 y una pluralidad de transpondedores de enlace de retorno 3440. Los transpondedores pueden ser de cualquier tipo de trayecto de señal de tubería doblada

entre los subsistemas de antena. Cada transpondedor de enlace directo 3430 se acopla con uno de los respectivos elementos de recepción constituyentes de enlace del alimentador 3416 con uno de los respectivos elementos de transmisión constituyentes del enlace de usuario 3429. Cada transpondedor de enlace de retorno 3440 se acopla con uno de los respectivos elementos de recepción constituyentes de enlace de usuario 3426 con uno de los respectivos elementos de transmisión constituyentes del enlace del alimentador 3419. Por ejemplo, algunos ejemplos descritos tienen una correspondencia de uno a uno entre elemento de recepción constituyente de enlace de usuario 3426 y un elemento de transmisión constituyente de enlace del alimentador 3419 (o viceversa), o que cada elemento de recepción constituyente de enlace de usuario 3426 se acopla con "un y solamente un" elemento de transmisión constituyente de enlace de alimentador 3419 (o viceversa), o lo similar. En algunos de estos casos, un lado de cada transpondedor se acopla a un único elemento de recepción y el otro lado del transpondedor se acopla con un único elemento de transmisión. En otros de estos casos, uno o ambos lados de un transpondedor puede acoplarse selectivamente (p. ej., mediante un conmutador u otros medios, como se describió anteriormente) con uno de múltiples elementos. Por ejemplo, el relé de extremo a extremo 3403 puede incluir un subsistema de antena de enlace de alimentador 3410 y dos subsistemas de antena de enlace de usuario 3420; y cada transpondedor puede acoplarse, en un lado, a un solo elemento de enlace de alimentador, y acoplarse selectivamente, en el otro lado, ya sea a un único elemento de enlace de usuario del primer subsistema de antena de enlace de usuario 3420 o a un único elemento de enlace de usuario del segundo subsistema de antena de enlace de usuario 3420. En tales casos de acoplamiento selectivo, cada lado de cada transpondedor puede considerarse en cualquier momento dado (p. ej., para una transacción relacionada con una señal en particular) como un acoplamiento con "un y solamente un" elemento o lo similar.

Para las comunicaciones directas, las transmisiones desde los NA 515 pueden recibirse (mediante los enlaces ascendentes del alimentador 521) mediante los elementos de recepción constituyentes del enlace del alimentador 3416, retransmitidos por los transpondedores de enlace directo 3430 a los elementos de transmisión constituyentes de enlace de usuario 3429 a las terminales de usuario 517 en el área de cobertura de usuario 3460. Para las comunicaciones de retorno, las transmisiones desde las terminales de usuario 517 pueden recibirse mediante los elementos de recepción constituyentes de enlace de retorno 3440 a los elementos de transmisión constituyentes del enlace de alimentador 3419 y transmitidas por los elementos de transmisión constituyentes del enlace alimentador 3419 a los NA 515 en el área de cobertura de NA 3450 (mediante las señales de enlace descendente del alimentador 527). La trayectoria completa de la señal desde un NA 515 hacia una terminal de usuario 517 mediante el relé de extremo a extremo 3403 se referencia como el enlace directo de extremo a extremo 501; y la trayectoria completa de la señal desde una terminal de usuario 517 hacia un NA 515 mediante el relé de extremo a extremo

3403 se referencia como el enlace de retorno de extremo a extremo 523. Como se describe en la presente descripción, el enlace directo de extremo a extremo 501 y el enlace de retorno de extremo a extremo 523 pueden incluir cada uno, canales de multitrayectos múltiples para las comunicaciones de enlace y retorno.

En algunos casos, cada una de la pluralidad de nodos de acceso geográficamente distribuidos (p. ej., los NA 515) tiene una salida de señal de enlace ascendente directo ponderado por haz de extremo a extremo. El relé de extremo a extremo (p. ej., el relé de extremo a extremo 3403) comprende un arreglo de elementos de recepción constituyentes de enlace de alimentador cooperativos 3416 en comunicación inalámbrica con los nodos de acceso distribuidos, un arreglo de elementos de transmisión constituyentes de enlace de usuario cooperativo 3419 en comunicación inalámbrica con la pluralidad de terminales de usuario 517, y una pluralidad de transpondedores de enlace directo 3430. Los transpondedores de enlace directo 3430 son transpondedores "de tubería doblada" (o sin procesamiento), de manera que cada transpondedor envía una señal que corresponde a la señal que se recibe con poco o ningún procesamiento. Por ejemplo, cada transpondedor de enlace directo 3430 puede amplificar y/o traducir la frecuencia de su señal recibida, pero no realiza un procesamiento más complejo (p. ej., no hay demodulación y/o modulación, no hay formación de haces integrados, etc.). En algunos casos, cada transpondedor de enlace directo 3430 acepta una entrada en una primera banda de frecuencia (p. ej., LHCP de 30 GHz) y emite a una segunda banda de frecuencia (p. ej., RHCP de 20 GHz), y cada transpondedor de enlace de retorno 3440 acepta una entrada en la primera banda de frecuencia (p. ej., RHCP de 30 GHz) y emite a la segunda banda de frecuencia (p. ej., LHCP de 20 GHz). Puede usarse cualquier combinación adecuada de frecuencia y/o polarización, y el enlace de usuario y el enlace de alimentador pueden usar la misma o diferentes rangos de frecuencias. Cada transpondedor de enlace directo 3430 se acopla entre un elemento respectivo de los elementos de recepción constituyentes de enlace de alimentador 3416 y un elemento respectivo de los elementos de transmisión constituyentes de enlace de usuario 3419 (p. ej., con una correspondencia de uno a uno). Los transpondedores de enlace directo 3430 convierten las superposiciones de una pluralidad de señales de enlace ascendente directo ponderadas por haz a través de los elementos de recepción constituyentes de enlace de alimentador 3416 en las señales de enlace descendente directo (p. ej., las señales directas de entrada compuestas). La transmisión de señales de enlace descendente directo por los elementos de transmisión constituyentes de enlace de usuario 3429 contribuye a formar un haz de usuario delantero que presta servicios a al menos algunas de las pluralidades de terminales de usuario 517. Como se describe en la presente descripción, las señales de enlace descendente directo pueden ser ponderadas y sincronizadas por haz de extremo a extremo (p. ej., sincronizadas en fase, y, si se desea, sincronizadas en el tiempo) antes de la transmisión desde los NA 515, que puede permitir la superposición deseada de estas señales a los elementos de recepción constituyentes de enlace de alimentador 3416.

La transmisión contribuye a formar el haz directo de usuario en el sentido de que la formación de haces es de extremo a extremo, como se describe en la presente descripción; la formación de haces es el resultado de múltiples etapas, que incluye calcular y aplicar los pesos adecuados a las señales de enlace ascendente directo antes de la transmisión al relé desde los NA 515, inducir trayectos múltiples por los múltiples transpondedores de enlace directo 3430 del relé de extremo a extremo 3403, y transmitir las señales de enlace descendente directo con una antena direccional de enlace de usuario. Aún, por motivos de simplicidad, algunas descripciones pueden referirse al haz directo a medida que se forma por la superposición de las señales de enlace descendente directo. En algunos casos, cada una de la pluralidad de terminales de usuario 517 está en comunicación inalámbrica con el arreglo de elementos de transmisión constituyentes de enlace de usuario cooperativo 3429 para recibir un compuesto (p. ej., una superposición) de las señales de enlace descendente directo transmitidas.

En algunos casos, el relé de extremo a extremo 3403 incluye, además, un arreglo de elementos de recepción constituyentes de enlace de usuario 3426 en comunicación inalámbrica con las terminales de usuario 517, un arreglo de elementos de transmisión constituyentes de enlace de alimentador cooperativo 3419 en comunicación inalámbrica con los NA distribuidos 515, y una pluralidad de transpondedores de enlace de retorno 3440. Los transpondedores de enlace de retorno 3440 pueden ser similares o idénticos al transpondedor de enlace directo 3430 (p. ej., transpondedores de tubería doblada), excepto que cada uno esté acoplado entre un elemento respectivo de los elementos de recepción constituyentes de enlace de usuario 3426 y un elemento respectivo de los elementos de transmisión constituyentes de enlace de alimentador 3419. La recepción de las señales de enlace ascendente de retorno a través del arreglo de elementos de recepción constituyentes de enlace de usuario cooperativo 3426 forma señales de enlace descendente de retorno en los transpondedores de enlace de retorno 3440. En algunos casos, cada señal de enlace descendente de retorno es una superposición respectiva de señales de enlace descendente de retorno recibidas por un elemento de recepción constituyente de enlace de usuario 3426 a partir de múltiples terminales de usuario 517 (p. ej., de múltiples áreas de cobertura de haz de usuario 519). En muchos de tales casos, cada una de la pluralidad de terminales de usuario está en comunicación inalámbrica con el arreglo de elementos de recepción constituyentes de enlace de usuario 3426 para transmitir una señal de enlace ascendente de retorno respectiva a múltiples de los elementos de recepción constituyentes de enlace de usuario 3426.

En algunos casos, las señales de enlace descendente de retorno se transmiten por el elemento de transmisión constituyente de enlace de alimentador 3419 a los NA distribuidos geográficamente 515. Como se describe en la presente descripción, cada NA 515 puede recibir un compuesto superpuesto de las señales de enlace descendente de retorno transmitidas desde

los elementos de transmisión constituyentes de enlace de alimentador 3419 (es decir, que corresponde a las señales de enlace descendente de retorno). Las señales de enlace descendente de retorno recibidas (denominadas como señales de recepción compuestas) pueden acoplarse a un formador de haz de retorno, que puede combinar, sincronizar, pesar el haz, y realizar cualquier otro procesamiento adecuado. Por ejemplo, el formador de haz de retorno puede pesar las superposiciones recibidas 1706 de las señales de enlace descendente de retorno (es decir, aplicar pesos del haz de retorno a las señales de retorno compuestas) antes de combinar las señales. El formador de haz de retorno puede sincronizar, además, las señales de retorno compuestas antes de combinar las señales para tener en cuenta al menos las diferencias respectivas de retardo del trayecto entre el relé de extremo a extremo 3403 y los NA 515. En algunos casos, la sincronización puede estar de acuerdo con una señal de baliza (recibida por uno o más o todos los NA 515).

Debido a la naturaleza de extremo a extremo de la formación de haces, la aplicación adecuada de pesos de haz de retorno por el formador de haz de retorno permite la formación de los haces de usuario de retorno, a pesar de que el formador de haz de retorno puede acoplarse al lado del enlace de alimentador de los canales de trayectos múltiples de extremo a extremo, y los haces de usuario pueden formarse en el lado del enlace de usuario de los canales de trayectos múltiples de extremo a extremo. En consecuencia, el formador de haz de retorno puede referirse como que contribuye a la formación de los haces de usuario de retorno (un número de otros aspectos del sistema 3400 contribuye, además, a la formación de haces de retorno de extremo a extremo, tal como la inducción de trayectos múltiples por los transpondedores de enlace de retorno 3440 del relé de extremo a extremo 3403). Sin embargo, el formador de haz de retorno puede mencionarse como la formación de los haces de usuario de retorno por motivos de simplicidad.

En algunos casos, el relé de extremo a extremo 3403 incluye además un subsistema de antena de enlace de alimentador 3410 para iluminar un área de cobertura de nodo de acceso (área de cobertura de NA 3450) dentro del cual se localiza la pluralidad de nodos de acceso distribuidos. El subsistema de antena de enlace de alimentador 3410 comprende el arreglo de elementos de recepción constituyentes de enlace de alimentador cooperativos 3416. En algunos casos, el relé de extremo a extremo 3403 incluye, además, un subsistema de antena de enlace de usuario 3420 para iluminar un área de cobertura de usuario 3460 dentro del cual la pluralidad de terminales de usuario 517 se distribuye geográficamente (p. ej., en una pluralidad de áreas de cobertura de haz de usuario 519). El subsistema de antena de enlace de usuario 3420 puede incluir comprende el arreglo de elementos de transmisión constituyentes de enlace de usuario cooperativos 3429. En algunos casos, el subsistema de antena de enlace de usuario 3420 incluye un arreglo de recepción de enlace de usuario y un arreglo de transmisión de enlace de usuario (p. ej., arreglos

separados semidúplex de los elementos constituyentes de enlace de usuario cooperativos). El arreglo de recepción de enlace de usuario y el arreglo 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 transmisión, respectivamente), o disponerse de cualquier otra manera adecuada. En otros casos, el subsistema de antena de enlace de usuario 3420 incluye los elementos dúplex (p. ej., cada elemento de transmisión constituyente de enlace de usuario 3429 comparte una estructura de radiación con un elemento de recepción constituyente de enlace de usuario respectivo 3426). De manera similar, en algunos casos, el subsistema de antena de enlace de alimentador 3410 incluye un arreglo de recepción de enlace de alimentador y un arreglo de transmisión de enlace de alimentador, que puede estar espacialmente relacionada con cualquier manera adecuada y puede irradiar directamente, apuntar a un único reflector, apuntar a los reflectores de transmisión y recepción separados, etc. En otros casos, el subsistema de antena de enlace de alimentador 3410 incluye elementos dúplex. El subsistema de antena de enlace de alimentador 3410 y el subsistema de antena de enlace de usuario 3420 pueden tener los mismos o diferentes tamaños de abertura. En algunos casos, el subsistema de antena de enlace de alimentador 3410 y el subsistema de antena de enlace de usuario 3420 funcionan en una misma banda de frecuencia (p. ej., banda Ka, etc.). En algunos casos, el subsistema de antena de enlace de alimentador 3410 y el subsistema de antena de enlace de usuario 3420 funcionan en diferentes bandas de frecuencia (p. ej., el enlace de alimentador usa banda V, el enlace de usuario usa la banda Ka, etc.).

En los ejemplos, tal como los ilustrados por la Figura 41, el área de cobertura de NA 3450 es distinta del área de cobertura de usuario 3460. El área de cobertura de NA 3450 puede ser un área de cobertura única y contigua, o múltiples áreas de cobertura divididas. De manera similar (e independientemente de si el área de cobertura de NA es única o múltiple), el área de cobertura de usuario 3460 puede ser un área de cobertura única y contigua, o múltiples áreas de cobertura divididas. En algunos casos, el área de cobertura de NA 3450 es un subconjunto del área de cobertura de usuario 3460. En algunos casos, al menos la mitad del área de cobertura de usuario 3460 no se superpone al área de cobertura de NA 3450. Como se describe más abajo, en algunos casos, el subsistema de antena de enlace de alimentador 3410 comprende, además, uno o más reflectores de enlace de alimentador, y el subsistema de antena de enlace de usuario 3420 comprende, además, uno o más reflectores de enlace de usuario. En algunos casos, el reflector de enlace de alimentador es significativamente más grande (p. ej., al menos dos veces el 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 de alimentador es aproximadamente la misma área física (p. ej., dentro de 5 %, 10 %, 25 %) que el reflector de enlace de usuario.

En algunos casos, el sistema 3400 funciona en el contexto de funciones de red terrestre, como se describe con referencia a la Figura 5. Por ejemplo, el relé de extremo a extremo 3403 se comunica con los NA 515, que se comunican con un CPS 505 a través de una red de distribución 518. En algunos casos, el CPS 505 incluye un formador de haz directo 529 y/o un formador de haz de retorno 531, por ejemplo, como se describe con referencia a la Figura 29. Como se describió anteriormente, el formador de haz directo 529 puede participar en la formación de haces de extremo a extremo directos mediante la aplicación de pesos del haz directo computarizados (p. ej., suministrados por un generador de pesos del haz directo 918) a las señales de enlace directo; y el formador de haz de retorno 531 puede participar en la formación de haces de extremo a extremo de retorno mediante la aplicación de pesos de haz de retorno computarizados (p. ej., suministrados por un generador de ponderación de haz de retorno 935) a las señales de enlace de retorno. Como se describió anteriormente, los pesos del haz directo de extremo a extremo y/o el conjunto de pesos de haz de retorno de extremo a extremo pueden calcularse de acuerdo con las ganancias de extremo a extremo estimadas para los canales de trayectos múltiples de extremo a extremo, cada canal de trayectos múltiples de extremo a extremo que acopla de manera comunicativa un NA respectivo de los NA distribuidos 515 con una ubicación respectiva en el área de cobertura de usuario (p. ej., una terminal de usuario 517 o cualquier ubicación de referencia adecuada) a través de una pluralidad respectiva de los transpondedores de tubería doblada de enlace directo 3430 y/o a través de una pluralidad respectiva de los transpondedores de tubería doblada de enlace de retorno 3440. En algunos casos, aunque no se muestra, el relé de extremo a extremo 3403 incluye un transmisor de señal de baliza. El transmisor de señal de baliza puede implementarse como se describió anteriormente con referencia al generador de señal de baliza y al módulo de soporte de calibración 424 de la Figura 15. En algunos casos, la señal de baliza generada puede usarse de manera que la pluralidad de NA distribuidos 515 está en comunicación inalámbrica sincronizada en el tiempo con el relé de extremo a extremo 3403 (p. ej., con la pluralidad de elementos de recepción constituyentes de enlace de alimentador 3416 de acuerdo con la señal de baliza).

En algunos casos, el sistema 3400 incluye un sistema para formar una pluralidad de haces directos de usuario mediante el uso de formación de haces de extremo a extremo. Tales casos incluyen medios para transmitir una pluralidad de señales de enlace ascendente directo desde una pluralidad de ubicaciones geográficamente distribuidas, en donde la pluralidad de señales de enlace ascendente directo se forma a partir de una combinación ponderada de una pluralidad de señales de haz de usuario, y en donde cada señal de haz de usuario corresponde a uno y sólo un haz de usuario. Por ejemplo, la pluralidad de ubicaciones geográficamente distribuidas puede incluir una pluralidad de NA 515, y los medios para transmitir la pluralidad de señales de enlace ascendente directo pueden incluir parte o la totalidad de un formador de haz directo 529, una red de distribución 518, y los NA

distribuidos geográficamente 515 (en comunicación con el relé de extremo a extremo 3403). Tales casos pueden incluir, además, medios para retransmitir la pluralidad de señales de enlace ascendente directo para formar una pluralidad de señales de enlace descendente directo. Cada señal de enlace descendente directo se crea mediante la amplificación de una única superposición de la pluralidad de señales de enlace ascendente directo, y la pluralidad de señales de enlace descendente directo se superpone para formar la pluralidad de haces de usuario, en donde cada señal de haz de usuario es dominante dentro del haz de usuario correspondiente. Por ejemplo, los medios para retransmitir la pluralidad de señales de enlace ascendente directo para formar la pluralidad de señales de enlace descendente directo pueden incluir el relé de extremo a extremo 3403 (en comunicación con una o más terminales de usuario en las áreas de cobertura de haz de usuario 519) con su pluralidad de trayectos de señal colocadas, que pueden incluir los transpondedores de enlace directo 3430 y los transpondedores de enlace de retorno 3440.

Algunos de tales casos incluyen el primer medio para recibir una primera superposición de la pluralidad de señales de enlace descendente directo y recuperar una primera de la pluralidad de señales de haz de usuario. Tales primeros medios pueden incluir una terminal de usuario 517 (p. ej., incluir una antena de la terminal de usuario, y un módem u otros componentes para recuperar las señales de haz de usuario de las señales de enlace descendente directo). Algunos de tales casos incluyen, además, el segundo medio (p. ej., que incluye una segunda terminal de usuario 517) para recibir una segunda superposición de la pluralidad de señales de enlace descendente directo y recuperar una segunda de la pluralidad de señales de haz de usuario. Por ejemplo, el primer medio para recibir se localiza dentro de un primer haz de usuario, y el segundo medio para recibir se localiza dentro de un segundo haz de usuario.

La Figura 42 es una ilustración de un modelo ilustrativo de trayectos de señal para señales que transportan datos de retorno en el enlace de retorno de extremo a extremo 523. El modelo ilustrativo puede funcionar de manera similar al modelo descrito con referencia a las Figuras 6 – 8, excepto que el relé de extremo a extremo 3403 incluye los trayectos de señal de enlace de retorno 3502 dedicados para las comunicaciones de enlace de retorno. Cada trayecto de señal de enlace de retorno 3502 puede incluir un transpondedor de enlace de retorno 3440 acoplado entre un elemento de recepción constituyente de enlace de usuario 3426 y un elemento de transmisión constituyente de enlace de alimentador 3419. Las señales que se originan con las terminales de usuario 517 en K áreas de cobertura de haz de usuario 519 se transmiten (como señales de enlace ascendente de retorno 525) hasta el relé de extremo a extremo 3403, recibidas por un arreglo de L trayectos de señal de enlace de retorno 3502, comunicadas a través de L transpondedores de enlace de retorno 3440 hasta los L elementos de transmisión constituyentes de enlace de alimentador correspondientes 3419, y transmitidos por cada uno de los L elementos de transmisión constituyentes de enlace de alimentador 3419 a

algunos o todos los M NA 515 (similares a lo que se muestra en la Figura 7). De esta manera, los trayectos múltiples de señal de enlace de retorno 3502 (p. ej., los transpondedores de enlace de retorno 3440) inducen los trayectos múltiples en las comunicaciones de enlace de retorno. Por ejemplo, la salida de cada trayecto de señal de enlace de retorno 3502 es una señal de enlace descendente de retorno 527 que corresponde a una de las señales respectivas de las señales de enlace ascendente de retorno recibidas 525 (p. ej., que corresponde a un compuesto recibido de las señales de enlace ascendente de retorno 525 transmitidas desde las múltiples de las áreas de cobertura de haz de usuario 519) y se transmite a través de las señales de enlace descendente de retorno 527 a los M NA 515 (p. ej., geográficamente distribuidas sobre un área de cobertura de NA 3450). Como se describió anteriormente, hay L (o hasta L) maneras diferentes para que una señal pueda pasar de una terminal de usuario 517 ubicada en un área de cobertura de haz de usuario 519 a un NA particular 515. El relé de extremo a extremo 3403 crea de esta manera L trayectos entre una terminal de usuario 517 y un NA 515, mencionado colectivamente como un canal de trayectos múltiples de retorno de extremo a extremo 1908 (p. ej., similar a la Figura 8).

Los canales de trayectos múltiples de retorno de extremo a extremo pueden modelarse de la misma manera descrita anteriormente. Por ejemplo, **Ar** es la matriz de radiación de enlace ascendente de retorno $L \times K$, **Ct** es la matriz de radiación de enlace ascendente de retorno $M \times L$, y **Eret** es la matriz de carga útil de retorno $L \times L$ para los trayectos de los elementos de recepción constituyentes de enlace de usuario 3426 a los elementos de transmisión constituyentes de enlace de alimentador 3419. Como se describió anteriormente, el canal de trayectos múltiples de retorno de extremo a extremo desde una terminal de usuario 517 en un área de cobertura de haz de usuario particular 519 hacia un NA 515 particular es el efecto neto de L trayectos diferentes de señal inducidos por L trayectos de señal de enlace de retorno únicos 3502 a través del relé de extremo a extremo 3403. Con áreas de cobertura de haz de usuario K 519 y los M NA 515, puede haber $M \times K$ canales de trayectos múltiples de retorno de extremo a extremo inducidos en el enlace de retorno de extremo a extremo 523 (a través del relé de extremo a extremo 3403), y cada uno puede modelarse individualmente para calcular un elemento correspondiente de una matriz del canal de retorno $M \times K$ **Hret** (**Ct** $\times$ **Eret** $\times$ **Ar**). Como se señaló anteriormente (p. ej., con referencia a las Figuras 6 – 8), no todos los NA 515, las áreas de cobertura de haz de usuario 519, y/o transpondedores de enlace de retorno 3440 tienen que participar en los canales de trayectos múltiples 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 el trayecto de señal de los canales de trayectos múltiples de retorno de extremo a extremo; y/o el número de AN, M , es mayor que el número de transpondedores L en el trayecto de señal de los canales de trayectos múltiples de retorno de extremo a extremo. Como se describe con referencia a la Figura 5, el CPS 505 puede permitir la formación haces de usuario de retorno

mediante la aplicación de pesos de haz de retorno a las señales de enlace descendente de retorno recibidas 527 (las señales recibidas, después de la recepción se denominan como señales de retorno compuestas 907, como se explica más adelante). Los pesos de haz de retorno pueden calcularse en base al modelo de los trayectos de señal $M \times K$ para cada canal de trayectos múltiples de retorno de extremo a extremo que acopla las terminales de usuario 517 en un área de cobertura de haz de usuario 519 con una de la pluralidad de NA 515.

La Figura 43 es una ilustración de un ejemplo de modelo de los trayectos de señales para las señales que transportan datos en el enlace directo de extremo a extremo 501. El modelo ilustrativo puede funcionar de manera similar al modelo descrito con referencia a las Figuras 9 – 11, excepto que el relé de extremo a extremo 3403 incluye los trayectos de señal de enlace directo 3602 dedicados para las comunicaciones de enlace directo. Cada trayecto de señal de enlace directo 3602 puede incluir un transpondedor de enlace directo 3430 acoplado entre un elemento de recepción constituyente de enlace de alimentador 3416 y un elemento de transmisión constituyente de enlace de usuario 3429. Como se describió anteriormente, cada señal de enlace ascendente directo 521 es ponderada por el haz (p. ej., en un formador de haz directo 515 en el CPS 505 del segmento terrestre 502) antes de la transmisión de un NA 515. Cada NA 515 recibe una señal de enlace ascendente directo única 521 y transmite la señal de enlace ascendente directo única 521 a través de uno o más M enlaces ascendentes (p. ej., de manera sincronizada en el tiempo). Las señales de enlace ascendente directo 521 se reciben desde las ubicaciones geográficamente distribuidas (p. ej., desde los NA 515) por algunos o todos los transpondedores de enlace directo 3430 en una manera superpuesta que crea señales directas de entrada compuestas 545. Cada transpondedor de enlace directo 3430 recibe simultáneamente una señal directa de entrada compuesta 545, aunque con sincronización ligeramente diferente debido a las diferencias en las ubicaciones de cada elemento de recepción constituyente de enlace de alimentador receptor 3416 asociado con cada transpondedor de enlace directo 3430. Por ejemplo, a pesar de que cada elemento de recepción constituyente de enlace de alimentador 3416 puede recibir un compuesto de la misma pluralidad de señales de enlace ascendente directo 521, las señales directas de entrada compuestas recibidas 545 pueden ser ligeramente diferentes. Las señales directas de entrada compuestas 545 son recibidas por L transpondedores de enlace directo 3430 a través de los elementos de recepción constituyentes de enlace de alimentador respectivos 3416, comunicados a través de L transpondedores de enlace directo 3430 a los L elementos de transmisión constituyente de enlace de usuario correspondientes 3429, y transmitidos por los L elementos de transmisión constituyente de enlace de usuario 3429 a una o más de las K áreas de cobertura de haz de usuario 519 (p. ej., como señal de enlace descendente directo 522, cada una que corresponde a una señal respectiva de las señales directas de entrada compuestas recibidas 521). De esta manera, los trayectos múltiples de la señal de enlace directo 3602 (p. ej., transpondedores de

enlace directo 3430) inducen los trayectos múltiples en las comunicaciones de enlace directo. Como se describió anteriormente, existen L maneras diferentes para que una señal pueda pasar de un NA 515 a una terminal de usuario particular 517 en un área de cobertura de haz de usuario 519. El relé de extremo a extremo 3403 induce de esta manera trayectos múltiples de la señal (p. ej., hasta L) entre un NA 515 y una terminal de usuario 517 (o un área de cobertura de haz de usuario 519), que pueden mencionarse colectivamente como un canal de trayectos múltiples directas de extremo a extremo 2208 (p. ej., similar a la Figura 10).

Los canales de trayectos múltiples directas de extremo a extremo 2208 pueden modelarse de la misma manera descrita anteriormente. Por ejemplo, **Cr** es la matriz de radiación de enlace ascendente directo $L \times M$, **At** es la matriz de radiación de enlace descendente directo $K \times L$, y **Efwd** es la matriz de carga útil directa $L \times L$ para los trayectos de los elementos de recepción constituyentes de enlace de alimentador 3416 a los elementos de transmisión constituyente de enlace de usuario 3429. En algunos casos, la matriz de carga útil directa **Efwd** y la matriz de carga útil de retorno **Eret** pueden ser diferentes para reflejar diferencias entre los trayectos de la señal de enlace directo 3602 y los trayectos de la señal de enlace de retorno 3502. Como se describió anteriormente, el canal de trayectos múltiples directas de extremo a extremo de un NA particular 515 a una terminal de usuario 517 en un área de cobertura de haz de usuario particular 519 es el efecto neto de L diferentes trayectos de señal inducidas por L trayectos de señal de enlace directo únicos 3602 a través del relé de extremo a extremo 3403. Con las K áreas de cobertura de haz de usuario 519 y los M NA 515, puede haber canales de trayectos múltiples directos de extremo a extremo $M \times K$ inducidos en el enlace directo de extremo a extremo 501, y cada uno puede modelarse individualmente para calcular un elemento correspondiente de una matriz del canal directo $M \times K$ **Hfwd** (**At** $\times$ **Efwd** $\times$ **Cr**). Como se señaló con referencia a la dirección de retorno, no todos los NA 515, las áreas de cobertura de haz de usuario 519, y/o transpondedores de enlace directo 3430 tienen que participar en los canales de trayectos múltiples directos de extremo a extremo. En algunos casos, el número de haces de usuario K es mayor que el número de transpondedores L en el trayecto de señal del canal de trayectos múltiples directas de extremo a extremo; y/o el número de AN, M , es mayor que el número de transpondedores L en el trayecto de señal del canal de trayectos múltiples directas de extremo a extremo. Como se describe con referencia a la Figura 5, puede calcularse un peso de haz apropiado para cada una de la pluralidad de canales de trayectos múltiples directos de extremo a extremo por el CPS 505 para formar los haces directos de usuario. El uso de múltiples transmisores (NA 515) a un solo receptor (terminal de usuario 517) puede proporcionar diversidad de trayecto de transmisión para permitir la transmisión satisfactoria de información a cualquier terminal de usuario 517 en presencia del canal de trayectos múltiples inducido intencionalmente.

Las Figuras 41 – 43 describen relés de extremo a extremo 3403 implementados con los transpondedores de enlace directo separados 3430 y los transpondedores de enlace de

retorno 3440. Las Figuras 44A y 44B muestran una ilustración de un trayecto de señal directa ilustrativo 3700 (como el trayecto de señal directa 3602 de la Figura 43) y trayecto de señal de retorno 3750 (como el trayecto de señal de retorno 3502 de la Figura 42), respectivamente. Como se describió anteriormente, el trayecto de señal directa 3700 incluye un transpondedor de enlace directo 3430 acoplado entre un elemento de recepción constituyente de enlace de alimentador 3416 y un elemento de transmisión constituyente de enlace de usuario 3429. El trayecto de señal de retorno 3750 incluye un transpondedor de enlace de retorno 3440 acoplado entre un elemento de recepción constituyente de enlace de usuario 3426 y un elemento de transmisión constituyente de enlace de alimentador 3419. En algunos casos, cada transpondedor de enlace directo 3430 y cada transpondedor de enlace de retorno 3440 es un transpondedor de polarización cruzada. Por ejemplo, el transpondedor de enlace directo 3430 recibe una señal de enlace ascendente directo a una frecuencia de enlace ascendente con polarización circular izquierda (LHCP) y emite una señal de enlace descendente directo a una frecuencia de enlace descendente con polarización circular derecha (RHCP); y cada transpondedor de enlace de retorno 3440 recibe una señal de enlace ascendente de retorno a la frecuencia de enlace ascendente con polarización circular derecha (RHCP) y emite una señal de enlace descendente de retorno a la frecuencia de enlace descendente con polarización circular izquierda (LHCP). Uno de tales casos (es decir, siguiendo las polarizaciones descritas en el ejemplo anterior) se ilustra siguiendo solamente las líneas continuas de las Figuras 44A y 44B, y otro de tales casos (es decir, siguiendo las polarizaciones opuestas de las descritas en el ejemplo anterior) se ilustra siguiendo solamente las líneas discontinuas de las Figuras 44A y 44B. En otros casos, algunos o todos los transpondedores pueden proporcionar un par de trayectos de señal bipolar. Por ejemplo, siguiendo tanto las líneas continuas como discontinuas de las Figuras 44A y 44B, los transpondedores de enlace directo 3430 y los transpondedores de enlace de retorno 3440 pueden recibir señales de enlace ascendente directo a la misma frecuencia o diferente frecuencia de enlace ascendente con ambas polarizaciones (LHCP y RHCP) y ambas pueden emitir señales de enlace descendente directo a la misma frecuencia o diferente frecuencia de enlace descendente con ambas polarizaciones (RHCP y LHCP). Por ejemplo, tales casos pueden permitir múltiples sistemas para que funcionen en paralelo mediante el uso de cualquier tipo adecuado de técnicas de mitigación de interferencias (p. ej., mediante el uso de división de tiempo, división de frecuencia, etc.). En algunos casos, el relé de extremo a extremo 3403 incluye un gran número de transpondedores, tal como 512 transpondedores de enlace directo 3430 y 512 transpondedores de enlace de retorno 3440 (p. ej., 1,024 transpondedores en total). Otras implementaciones pueden incluir números más pequeños de transpondedores, tal como 10, o cualquier otro número adecuado. En algunos casos, los elementos de antena se implementan como estructuras dúplex, de manera que cada elemento de antena receptora comparte

estructura con un elemento de antena transmisora respectivo. 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 la transmisión como para la recepción de señales. En algunos casos, solamente los elementos de enlace de alimentador, o solamente los elementos de enlace de usuario, son dúplex. Otras implementaciones pueden usar diferentes tipos de polarización. Por ejemplo, en algunas implementaciones, los transpondedores pueden acoplarse entre un elemento de antena receptora y un elemento de antena transmisora de la misma polaridad.

Tanto el transpondedor de enlace directo ilustrativo 3430 como el transpondedor de enlace de retorno 3440 pueden incluir amplificadores de bajo ruido (LNA) 3705, convertidores de frecuencia y filtros asociados 3710, amplificadores de canal 3715, desfasadores 3720, amplificadores de potencia 3725 (p. ej., amplificadores de tubo de ondas progresivas (TWTA), amplificadores de potencia de estado sólido (SSPA), etc.) y filtros de armónicos 3730. En implementaciones bipolares, como se muestra, cada polo es su propio trayecto de señal con su propio conjunto de componentes del transpondedor. Algunas implementaciones pueden tener más o menos componentes. Por ejemplo, los convertidores de frecuencia y los filtros asociados 3710 pueden ser útiles en casos donde las frecuencias de enlace ascendente y descendente son diferentes. Como un ejemplo, cada transpondedor de enlace directo 3430 puede aceptar una entrada en una primera banda de frecuencia y puede emitir en una segunda banda de frecuencia; y cada transpondedor de enlace de retorno 3440 puede aceptar una entrada en la primera banda de frecuencia y puede emitir en la segunda banda de frecuencia.

En algunos casos, se usan múltiples subbandas (p. ej., siete subbandas de 500 MHz, como se describió anteriormente por ejemplo, en algunos casos, pueden proporcionarse transpondedores que funcionan sobre las mismas subbandas como se usa en una implementación de múltiples subbandas de la red terrestre, para permitir de manera eficaz múltiples sistemas de formación de haces de extremo a extremo independientes y paralelos a través de un único relé de extremo a extremo (cada sistema de formación de haces de extremo a extremo que funciona en una subbanda diferente). En otros casos, un sistema de formación de haces de extremo a extremo de gran ancho de banda puede usar múltiples subbandas en la red terrestre, pero puede pasar una o más (o todas) subbandas a través de los transpondedores de banda ancha (p. ej., se pasan 7 subbandas, cada una de 500 MHz de ancho a través de un transpondedor de ancho de banda de 3.5 GHz). En tales casos, cada transpondedor puede incluir múltiples convertidores de frecuencia y filtros asociados 3710, y/u otros componentes, dedicados al manejo de uno o más de las subbandas.). El uso de múltiples subbandas de frecuencia puede permitir requisitos relajados sobre la amplitud y la respuesta de fase del transpondedor, ya que la red terrestre puede determinar por separado los pesos de haz usados en cada una de las subbandas, calibrar de manera eficaz la

amplitud de banda de paso y variación de fase de los transpondedores. Por ejemplo, con los transpondedores directos y de retorno separados, y mediante el uso de 7 subbandas, puede usarse un total de 14 pesos de haz diferentes para cada haz, es decir 7 subbandas * 2 direcciones (directa y de retorno). En algunos casos, cada trayectoria del transpondedor incluye solamente un LNA 3705, un amplificador de canal 3715, y un amplificador de potencia 3725. Algunas implementaciones del relé de extremo a extremo 3403 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 describió anteriormente.

Los elementos de antena pueden transmitir y/o recibir señales en cualquier manera adecuada. En algunos casos, el relé de extremo a extremo 3403 tiene uno más reflectores alimentados por arreglos. Por ejemplo, el subsistema de antena de enlace de alimentador 3410 puede tener un reflector de enlace de alimentador tanto para transmitir como para recibir, o un reflector de transmisión de enlace de alimentador y un reflector de recepción de enlace de alimentador separados. De manera similar, el subsistema de antena de enlace de usuario 3420 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 un caso ilustrativo, el subsistema de antena de enlace de alimentador 3410 comprende un arreglo de estructuras de radiación, y cada estructura de radiación incluye un elemento de recepción constituyente de enlace de alimentador 3416 y un elemento de transmisión constituyente de enlace de alimentador 3419. En tal caso, el subsistema de antena de enlace de alimentador 3410 puede incluir, además, un reflector de enlace de alimentador que ilumina los elementos de recepción constituyentes de enlace de alimentador 3416 y se ilumina por los elementos de transmisión constituyentes de enlace de alimentador 3419. En algunos casos, el reflector se implementa como múltiples reflectores, que pueden ser de diferentes formas, tamaños, orientaciones, etc. En otros casos, el subsistema de antena de enlace de alimentador 3410 y/o el subsistema de antena de enlace de usuario 3420 se implementa sin reflectores, por ejemplo, como un arreglo de radiación directa.

Como se señaló anteriormente, separar el subsistema de antena de enlace de alimentador 3410 y el subsistema de antena de enlace de usuario 3420 puede permitir dar servicio a una o más áreas de cobertura de NA 3450 que son distintas de una o más áreas de cobertura de usuarios 3460. Por ejemplo, el subsistema de antena de enlace de alimentador 3410 puede implementarse con un reflector que tiene un área física apreciablemente mayor que el reflector del área de cobertura de usuario 3460. El reflector más grande puede permitir que un gran número de NA 515 se distribuya geográficamente en un área de cobertura de NA 3450 apreciablemente más pequeña, tal como en un pequeño subconjunto del área de cobertura de usuario 3460. Se muestran algunos ejemplos en las Figuras 45 y 46.

La Figura 45 muestra un ejemplo de un relé de extremo a extremo 3403 (p. ej., un satélite) del área de cobertura de Tierra visible 3800. En el relé de extremo a extremo ilustrativo 3403, el subsistema de antena de enlace de alimentador 3410 incluye un reflector de enlace de alimentador de 18 metros, y el subsistema de antena de enlace de usuario 3420 incluye un reflector de enlace de usuario de 2 metros (p. ej., el área del reflector de enlace de alimentador es aproximadamente ochenta veces más grande que el área del reflector de enlace de usuario). Cada subsistema de antenas incluye, además, un arreglo de 512 elementos de recepción/transmisión constituyentes cooperativos. Por ejemplo, el relé de extremo a extremo ilustrativo 3403 puede incluir 512 transpondedores de enlace directo 3430 (p. ej., la formación de 512 trayectos de la señal directa 3700 como se muestra en la Figura 44A) y 512 transpondedores de enlace de retorno 3440 (p. ej., la formación de 512 trayectos de señal de retorno 3750 como se muestra en la Figura 44B). El área de cobertura de usuario 3460 incluye 625 áreas de cobertura de haz de usuario 519. La región sombreada pequeña en el este de los Estados Unidos es un área de cobertura de NA 3450 que tiene 597 NA 515 distribuidas en la esta. El área de cobertura de NA 3450 es un pequeño subconjunto del área de cobertura de usuario grande 3460, pero todavía proporciona gran capacidad con un gran número de NA 515. Tal área de cobertura de NA relativamente densa 3450 se denomina en la presente descripción como una "granja de NA".

La Figura 46 muestra un ejemplo de un relé de extremo a extremo 3403 (p. ej., un satélite) del área de cobertura Estados Unidos continental (CONUS) 3900. El relé de extremo a extremo ilustrativo 3403 es similar al ejemplo mostrado en la Figura 45, excepto que el subsistema de antena de enlace de usuario 3420 incluye un reflector de enlace de usuario de 5 metros (p. ej., el reflector de enlace de alimentador es aproximadamente cuatro veces más grande que el reflector de enlace de usuario). El área de cobertura de usuario 3460 incluye 523 áreas de cobertura de haz de usuario 519. El área de cobertura de NA 3450 (la granja de NA) es la misma que la de la Figura 45: una región en el este de los Estados Unidos que tiene 597 NA 515 distribuidas en esta, que es un pequeño subconjunto del área de cobertura de usuario 3460.

Múltiples áreas de cobertura

En los relés de extremo a extremo ilustrativos 3403 descritos anteriormente, el subsistema de antena de enlace de usuario 3420 se describe como un solo subsistema de antenas (p. ej., con un solo reflector de enlace de usuario), y el subsistema de antena de enlace de alimentador 3410 se describe como un solo subsistema de antenas (p. ej., con un solo reflector de enlace de alimentador). En algunos casos, el subsistema de antena de enlace de usuario 3420 puede incluir uno o más subsistemas de antena (p. ej., dos o más subarreglos de elementos de antena constituyentes) asociados con uno o más reflectores de enlace de usuario, y el subsistema de antena de enlace de alimentador 3410 puede incluir uno o más subsistemas de antena asociados con uno o más reflectores de enlace de alimentador. Por ejemplo, algunos relés

de extremo a extremo 3403 pueden tener un subsistema de antena de enlace de usuario 3420 que incluye una primera matriz de elementos de recepción/transmisión constituyentes de enlace de usuario asociados con un primer reflector de enlace de usuario (p. ej., cada elemento se dispone para iluminar, y/o que se ilumine por, el primer reflector de enlace de usuario) y una segunda matriz 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 son aproximadamente la misma área física (p. ej., dentro de 5 %, 10 %, 25 %, 50 %) entre sí. En algunos casos, un reflector de enlace de usuario es significativamente más grande (p. ej., al menos dos veces el área física) que el otro. Cada conjunto de los elementos de recepción/transmisión constituyentes de enlace de usuario, y su reflector de enlace de usuario asociado puede iluminar un área de cobertura de usuario distinta correspondiente. Por ejemplo, las múltiples áreas de cobertura de usuario pueden no superponerse, superponerse parcialmente, superponerse totalmente (p. ej., una cobertura de usuario más pequeña podría contenerse dentro de un área de cobertura de usuario más grande), etc. En algunos casos, las múltiples áreas de cobertura de usuario pueden activarse (iluminarse) al mismo tiempo. Otros casos, como se describe más abajo, pueden permitir la activación selectiva de las diferentes porciones de elementos de recepción/transmisión constituyentes de enlace de usuario, lo que activa de esta manera diferentes áreas de cobertura de usuario en diferentes momentos. La conmutación entre múltiples áreas de cobertura puede combinarse con el CPS. Por ejemplo, la calibración de formación de haces, el cálculo del peso de haz y la aplicación del peso de haz puede producirse en dos formadores de haz paralelos, uno para cada uno de dos áreas de cobertura diferentes. El uso de pesos apropiados en los formadores de haz puede programarse para que corresponda con el funcionamiento del relé de extremo a extremo. Los pesos de haz pueden, en algunos casos, cambiar durante un intervalo de tiempo si se emplean formadores de haz de intervalo de tiempo.

Las Figuras 47A y 47B muestran un trayecto de señal directa ilustrativo 4000 y un trayecto de señal de retorno 4050, respectivamente, cada uno tiene la activación selectiva de múltiples subsistemas de antena de enlace de usuario 3420. Cada trayecto de señal tiene un transpondedor acoplado entre los elementos de antena constituyentes. Volviendo primero a la Figura 47A, el transpondedor de enlace directo 3430 es similar al descrito con referencia a la Figura 44A, excepto que el lado de salida del transpondedor de enlace directo 3430 se acopla de manera selectiva a uno de dos elementos de transmisión constituyente de enlace de usuario 3429, cada parte de un subsistema de antena de enlace de usuario separado 3420 (p. ej., cada parte de un arreglo separado de elementos de transmisión constituyentes de enlace de usuario cooperativos 3429). Como se describió anteriormente, el transpondedor de enlace directo 3430 puede incluir algunos o todos los LNA 3705, convertidores de frecuencia y filtros asociados 3710,

amplificadores de canal 3715, desfasadores 3720, amplificadores de potencia 3725, y filtros de armónicos 3730.

El transpondedor de enlace directo 3430 de la Figura 47A incluye además los conmutadores 4010 (conmutadores de enlace directo) que acoplan de manera selectiva el transpondedor o bien a un primer elemento de transmisión constituyente de enlace de usuario 3429a (de un primer subsistema de antena de enlace de usuario 3420) a través de un primer conjunto de amplificadores de potencia 3725 y los filtros de armónicos 3730, o a un segundo elemento de transmisión constituyente de enlace de usuario 3429b (de un segundo subsistema de antena de enlace de usuario 3420) a través de un segundo conjunto de amplificadores de potencia 3725 y filtros de armónicos 3730. Por ejemplo, en un primer modo de conmutación, el transpondedor de enlace directo 3430 forma de manera eficaz un trayecto de señal entre un elemento de recepción constituyente de enlace de alimentador 3416 y un primer elemento de transmisión constituyente de enlace de usuario 3429; y en un segundo modo de conmutación, el transpondedor de enlace directo 3430 forma de manera eficaz un trayecto de señal entre el mismo elemento de recepción constituyente de enlace de alimentador 3416 y un segundo elemento de transmisión constituyente de enlace de usuario 3429. Los conmutadores 4010 pueden implementarse mediante el uso de cualquier medio de conmutación adecuado, tal como un conmutador electromecánico, un relé, un transistor, etc. Aunque se muestran como conmutadores 4010, otras implementaciones pueden usar cualquier otro medio adecuado para acoplar de manera selectiva la entrada del transpondedor de enlace directo 3430 a múltiples salidas. Por ejemplo, los amplificadores de potencia 3725 pueden usarse como conmutadores (p. ej., proporcionar una ganancia alta cuando están “encendidos” y ganancia cero (o pérdida) cuando están “apagados”).

Volviendo a la Figura 47B, el transpondedor de enlace de retorno 3440 refleja funcionalmente el transpondedor de enlace directo 3430 de la Figura 47A. En lugar de acoplar de manera selectiva el lado de salida del transpondedor, como en el caso de enlace directo de la Figura 47A, el lado de entrada del transpondedor de enlace de retorno 3440 de la Figura 47B se acopla de manera selectiva a uno de dos elementos de recepción constituyentes de enlace de usuario 3426. De nuevo, cada elemento de recepción constituyente de enlace de usuario 3426 puede ser parte de un subsistema de antena de enlace de usuario separado 3420 (p. ej., cada parte de un arreglo separado de elementos de recepción constituyentes de enlace de usuario 3426). Como se describió anteriormente (p. ej., en la Figura 44B), el transpondedor de enlace de retorno 3440 puede incluir algunos o todos los LNA 3705, convertidores de frecuencia y filtros asociados 3710, amplificadores de canal 3715, desfasadores 3720, amplificadores de potencia 3725, y filtros de armónicos 3730.

El transpondedor de enlace de retorno 3440 de la Figura 47B incluye, además, los conmutadores 4010 (conmutadores de enlace de retorno) que acoplan de manera selectiva el transpondedor o bien a un primer elemento de recepción constituyente de enlace de usuario

3426 (de un primer subsistema de antena de enlace de usuario 3420) a través de un primer conjunto de LNA 3705, o a un segundo elemento de recepción constituyente de enlace de usuario 3426 (de un segundo subsistema de antena de enlace de usuario 3420) a través de un segundo conjunto de LNA 3705. Por ejemplo, en un primer modo de conmutación, el transpondedor de enlace de retorno 3440 forma de manera eficaz un trayecto de señal entre un primer elemento de recepción constituyente de enlace de usuario 3426 y un elemento de transmisión constituyente de enlace de alimentador 3419; y en un segundo modo de conmutación, el transpondedor de enlace de retorno 3440 forma de manera eficaz un trayecto de señal entre un segundo elemento de recepción constituyente de enlace de usuario 3426 y el mismo elemento de transmisión constituyente de enlace de alimentador 3419. Los conmutadores 4010 pueden implementarse mediante el uso de cualquier medio de conmutación adecuado, tal como un conmutador electromecánico, un relé, un transistor, etc. Aunque se muestran como conmutadores 4010, otras implementaciones pueden usar cualquier otro medio adecuado para acoplar de manera selectiva la entrada del transpondedor de enlace directo 3430 a múltiples salidas. Por ejemplo, los amplificadores 3705 puede usarse como conmutadores (p. ej., proporcionar una ganancia alta cuando están “encendidos” y ganancia cero (o pérdida) cuando están “apagados”).

Los ejemplos del relé de extremo a extremo 3403 pueden incluir un controlador de conmutación 4070 para conmutar de manera selectiva algunos o todos los conmutadores 4010 (u otro medio de acoplamiento selectivo adecuado) de acuerdo con un programa de conmutación. Por ejemplo, el programa de conmutación puede almacenarse en un dispositivo de almacenamiento integrado del relé de extremo a extremo 3403. En algunos casos, el programa de conmutación selecciona de manera eficaz cual subsistema de antena de enlace de usuario 3420 activar (p. ej., que conjunto de haces de usuario para iluminar) en cada una de una pluralidad de intervalos de tiempo (p. ej., ranuras de tiempo). En algunos casos, la conmutación asigna igual tiempo a los múltiples subsistemas de antena de enlace de usuario 3420 (p. ej., cada uno de dos subsistemas se activa durante aproximadamente la mitad del tiempo). En otros casos, la conmutación puede usarse para realizar los objetivos de capacidad compartida. Por ejemplo, un subsistema de antena de enlace de usuario 3420 puede asociarse con usuarios de mayor demanda y puede asignarse una mayor porción de tiempo en el programa, mientras que otro subsistema de antena de enlace de usuario 3420 puede asociarse con usuarios de menor demanda y puede asignarse una porción más pequeña de tiempo en el programa.

Las Figuras 48A y 48B muestran un ejemplo de áreas de cobertura 4100 y 4150 del relé de extremo a extremo 3403 que incluyen múltiples áreas de cobertura de usuario selectivamente activadas 3460a, 3460b. El relé de extremo a extremo ilustrativo 503 es similar al de las Figuras 38 y 39 excepto para los diferentes subsistemas de antena. En este ejemplo, el

subsistema de antena de enlace de usuario 3420 incluye dos reflectores de enlace de usuario de 9 metros, y los transpondedores se configuran para activar de manera selectiva solamente la mitad de los haces de usuario en cualquier momento dado (p. ej., los transpondedores se implementan como en las Figuras 47A y 47B). Por ejemplo, durante un primer intervalo de tiempo, como se muestra en la Figura 48A, el área de cobertura de usuario 3460a incluye quinientas noventa áreas de cobertura de haz de usuario activas 519. Las áreas de cobertura de haz de usuario activas 519 cubren de manera eficaz la mitad occidental de los Estados Unidos. El área de cobertura de NA 3450 (la granja de NA) es la misma que la de las Figuras 38 y 39: una región en el este de los Estados Unidos que tiene 597 NA 515 distribuidas en esta. Durante el primer intervalo de tiempo, el área de cobertura de NA 3450 no se superpone con el área de cobertura de usuario activa 3460. Durante un segundo intervalo de tiempo, como se muestra en la Figura 48B, el área de cobertura de usuario 3460b incluye otras quinientas noventa áreas de cobertura de haz de usuario activas 519. Las áreas de cobertura de haz de usuario activas 519 en el segundo intervalo de tiempo cubren de manera eficaz la mitad oriental de los Estados Unidos. El área de cobertura de NA 3450 no cambia. Sin embargo, durante el segundo intervalo de tiempo, el área de cobertura de NA 3450 se superpone completamente por (es un subconjunto de) el área de cobertura de usuario activa 3460. La capacidad puede asignarse de manera flexible a varias regiones (p. ej., entre las áreas de cobertura del usuario del este y del oeste) ajustando dinámicamente la relación de tiempo asignada a los subsistemas de antena de enlace de usuario correspondientes.

Mientras que el ejemplo anterior ilustra dos áreas de cobertura de usuario de tamaño similar, pueden proporcionarse otros números de áreas de cobertura de usuario (p. ej., tres o más) y pueden ser de tamaños diferentes (p. ej., cobertura de la tierra, solamente Estados Unidos continental, solamente Estados Unidos, solamente regional, etc.). En casos con múltiples áreas de cobertura de usuario 3460, el área de cobertura de usuarios 3460 puede tener cualquier relación geográfica adecuada. En algunos casos, la primera y segunda áreas de cobertura de usuario 3460 se superponen parcialmente (p. ej., como se muestra en las Figuras 48A y 48B). En otros casos, una segunda área de cobertura de usuario 3460 puede ser un subconjunto de una primera área de cobertura de usuario 3460 (p.ej., como se muestra en las Figuras 45 y 46). En otros casos, la primera y segunda áreas de cobertura de usuario no se superponen (p. ej., se dividen).

Las Figuras 47A – 47B describen la selección del trayecto de señal en el lado del enlace de usuario. Sin embargo, algunos casos incluyen alternativa o adicionalmente la conmutación del trayecto de señal en el lado del enlace de alimentador. La Figura 49 muestra un trayecto de señal directo ilustrativo 4200 que tiene la activación selectiva de múltiples subsistemas de antena de enlace de usuario 3420 y múltiples subsistemas de antena de enlace de alimentador 3410. El trayecto de señal tiene un transpondedor de enlace directo 3430

acoplado entre los elementos de antena constituyentes. Como se describió anteriormente, el transpondedor de enlace directo 3430 puede incluir algunos o todos los LNA 3705, convertidores de frecuencia y filtros asociados 3710, amplificadores de canal 3715, desfases 3720, amplificadores de potencia 3725, y filtros de armónicos 3730. El lado de entrada del transpondedor de enlace directo 3430 se acopla de manera selectiva a uno de dos elementos de recepción constituyentes de enlace de alimentador 3416 (p. ej., mediante el uso de conmutadores 4010a y 4010b, o cualquier otro medio de selección del trayecto adecuado). Cada elemento de recepción constituyente de enlace de alimentador 3416 puede ser parte de un subsistema de antena de enlace de alimentador separado 3410 (p. ej., cada parte de un arreglo separado de elementos de recepción constituyentes de enlace de alimentador cooperativos 3416). El lado de salida del transpondedor de enlace directo 3430 se acopla de manera selectiva a uno de dos elementos de transmisión constituyente de enlace de usuario 3429 (p. ej., mediante el uso de conmutadores 4010c y 4010d, o cualquier otro medio de selección del trayecto adecuado). Cada elemento de transmisión constituyente de enlace de usuario 3429 puede ser parte de un subsistema de antena de enlace de usuario separado 3420 (p. ej., cada parte de un arreglo separado de elementos de transmisión constituyentes de enlace de usuario cooperativos 3429). Uno o más controladores de conmutación (no se muestra) pueden incluirse en el relé de extremo a extremo 3403 para seleccionar entre algunos o todos los cuatro trayectos de señal posibles habilitados por el transpondedor de enlace directo 3430. Los transpondedores de las Figuras 47A, 47B, y 49 se destinan únicamente a ilustrar algunos de los muchos casos posibles. Además, algunos casos pueden incluir la selección del trayecto entre más de dos subsistemas de antena de enlace de usuario 3420 y/o más de dos subsistemas de antena de enlace de alimentador 3410. De manera similar, la selección del trayecto adicional puede incluirse en casos en donde el subsistema de antena de enlace de usuario 3420 y/o el elemento de recepción constituyente de enlace de alimentador 3416 tiene los reflectores de transmisión y recepción separados, o lo similar.

De manera similar, pueden proporcionarse, además, múltiples áreas de cobertura de NA. Como un ejemplo, puede ser deseable que el tráfico de determinadas regiones geográficas termine en sus respectivas regiones. Por ejemplo, un relé de extremo a extremo 3403 con o sin transpondedores emparejados como los ilustrados en la Figura 49 puede dar servicio a una primera área de cobertura de NA 3450 y una primera área de cobertura de usuario 3460, ambas en América del Norte, y una segunda área de cobertura de NA 3450 y una segunda área de cobertura de usuario 3460, ambas en América del Sur. Mediante el uso de la selección del trayecto (p. ej., conmutación) en los transpondedores, un único relé de extremo a extremo 3403 (p. ej., un único satélite) puede dar servicio al tráfico asociado con el área de cobertura de usuario de América del Norte 3460 mediante el uso del NA 515 el área de cobertura de NA de América del Norte 3450, y dar servicio al tráfico

asociado con el área de cobertura de usuario de América del Sur 3460 mediante el uso del NA 515 en el área de cobertura de NA de América del Sur 3450. La capacidad puede asignarse de manera flexible a varias regiones (p. ej., entre las áreas de cobertura de usuario de América del Norte y del Sur) mediante el ajuste de manera dinámica la relación de tiempo asignado a los subsistemas de antena correspondientes.

Generalmente, las características del relé de extremo a extremo 3403 descritas en la Figura 41 permiten dar servicio a al menos un área de cobertura de haz de usuario 519 distinto de al menos un área de cobertura de NA 3450. En algunos casos, el servicio de área de cobertura distinta puede permitir el uso de granjas de NA para proporcionar alta capacidad a un área de cobertura de usuario grande 3460. Las Figuras 45, 46, 48A, y 48B muestran varios ejemplos de tales implementaciones de granja de NA. El despliegue de un gran número de NA 515 en un área geográfica relativamente pequeña puede proporcionar un número de características. Por ejemplo, puede ser más fácil garantizar que más (o incluso todos) los NA 515 se desplieguen más cerca de una red de alta velocidad (p. ej., en una región con buena conectividad de fibra de nuevo al CPS 505), dentro de las fronteras de un solo país o región, en la tierra, etc., con menos desviación de una distribución ideal de NA 515. La implementación del servicio de área de cobertura distinta con la selección del trayecto (p. ej., como en las Figuras 47A – 47B puede proporcionar características adicionales. Por ejemplo, como se describió anteriormente, puede usarse una única granja de NA (y un único relé de extremo a extremo 3403) para dar servicio de manera selectiva a las múltiples áreas de cobertura de usuario 3460. De manera similar, un único relé de extremo a extremo 3403 puede usarse para distinguir y dar servicio al tráfico por región.

En algunos casos, el servicio de área de cobertura distinta con la selección del trayecto puede permitir varias funciones de gestión de interferencia y / o gestión de capacidad. Por ejemplo, volviendo de nuevo a las Figuras 48A y 48B, pueden considerarse cuatro categorías de enlaces de comunicaciones: comunicaciones de enlace directo desde la granja de NA al área de cobertura de usuario activa occidental 3460 de la Figura 48A ("Enlace A"); las comunicaciones de enlace directo desde la granja de NA al área de cobertura de usuario activa del este 3460 de la Figura 48B ("Enlace B"); las comunicaciones de enlace de retorno desde el área de cobertura de usuario activa occidental 3460 de la Figura 48A a la granja de NA ("Enlace C"); y las comunicaciones de enlace de retorno desde el área de cobertura de usuario activa del este 3460 de la Figura 48B a la granja de NA ("Enlace D"). En un primer intervalo de tiempo, el área de cobertura de usuario del este 3460 de la Figura 48B está activa, de manera que las comunicaciones están sobre el Enlace B y Enlace D. Debido a que hay una superposición completa entre el área de cobertura de NA 3450 y el área de cobertura de usuario del este 3460, los Enlaces B y D interfieren potencialmente. En consecuencia, durante el primer intervalo de tiempo, el Enlace B puede

asignarse a la primera porción del ancho de banda (p. ej., 2 GHz), y el Enlace D puede asignarse a la segunda porción del ancho de banda (p. ej., 1.5 GHz). En un primer segundo intervalo, el área de cobertura de usuario occidental 3460 de la Figura 48A está activa, de manera que las comunicaciones están sobre el Enlace A y el Enlace C. Debido a que no hay superposición entre el área de cobertura de NA 3450 y el área de cobertura de usuario occidental 3460, el Enlace A y el Enlace C pueden usar el ancho de banda completo (p. ej., 3.5 GHz) del relé de extremo a extremo 3403 durante el segundo intervalo de tiempo. Por ejemplo, durante el primer intervalo de tiempo, las señales de enlace ascendente directo pueden recibirse mediante el uso de un primer rango de frecuencia, y las señales de enlace ascendente de retorno pueden recibirse mediante el uso de un segundo rango de frecuencia diferente del primer rango de frecuencia; y durante el segundo intervalo de tiempo, las señales de enlace ascendente directo y las señales de enlace ascendente de retorno pueden recibirse mediante el uso de un mismo rango de frecuencia (p. ej., el primer, segundo u otro rango de frecuencia). En algunos casos, puede haber reutilización de frecuencia tanto durante el primer como el segundo intervalo de tiempo, con otras técnicas de mitigación de interferencias usadas durante el primer intervalo de tiempo. En algunos casos, puede seleccionarse el tiempo de selección del trayecto para compensar tal diferencia en asignación del ancho de banda durante diferentes intervalos de tiempo. Por ejemplo, el primer intervalo de tiempo puede ser más largo que el segundo intervalo de tiempo, de manera que a los Enlaces B y D se asignan menos ancho de banda durante más tiempo para compensar al menos parcialmente la asignación de los Enlaces A y C más ancho de banda durante un tiempo más corto.

En algunos casos, las primeras señales de enlace ascendente de retorno se reciben durante el primer intervalo de tiempo por la pluralidad de elementos de recepción constituyentes de enlace de usuario 3426a desde una primera porción de la pluralidad de terminales de usuario 517 geográficamente distribuidas sobre algunas o todas de una primera área de cobertura de usuario (p. ej., el área de cobertura de usuario del este 3460), y las segundas señales de enlace ascendente de retorno se reciben durante el segundo intervalo de tiempo por la pluralidad de elementos de recepción constituyentes de enlace de usuario 3426b desde una segunda porción de la pluralidad de terminales de usuario 517 geográficamente distribuidas sobre algunas o todas de una segunda área de cobertura de usuario (p. ej., el área de cobertura de usuario occidental 3460). Cuando el área de cobertura de NA 3450 (la granja de NA) es un subconjunto de la primera área de cobertura de usuario (p. ej., como se ilustra en las Figuras 48A y 48B), puede calibrarse la sincronización de NA con el relé de extremo a extremo 3403 durante el primer período de tiempo (p. ej., cuando hay superposición entre el área de cobertura de usuario 3460 y el área de cobertura de NA 3450).

Como se describió anteriormente, algunos casos pueden incluir determinar un respectivo ajuste de sincronización relativa para cada una de la pluralidad de NA 515, de manera que las transmisiones asociadas de la pluralidad de NA 515 alcancen el relé de extremo a extremo 3403

en sincronía (p. ej., con sincronización suficientemente coordinada con respecto a la duración del símbolo, que es típicamente una fracción de la duración del símbolo tal como 10 %, 5 %, 2 % u otro valor adecuado). En tales casos, las señales de enlace ascendente directo se transmiten por la pluralidad de NA 515 de acuerdo con los ajustes respectivos de sincronización relativa. En muchos de tales casos, una señal de baliza de sincronización (p. ej., una señal de PN generada por un generador de señal de baliza, como se describió anteriormente) se recibe por al menos parte de la pluralidad de NA 515 del relé de extremo a extremo 3403, y los ajustes respectivos de sincronización relativa se determinan de acuerdo con la señal de baliza de sincronización. En otros de tales casos, algunos o todos los NA 515 pueden recibir transmisiones de lazo cerrado del relé de extremo a extremo 3403, y los ajustes respectivos de sincronización relativa se determinan de acuerdo con las transmisiones de lazo cerrado. Las diversas aproximaciones para calibrar los NA 515 pueden depender de la capacidad de los NA 515 para comunicarse con el relé de extremo a extremo 3403. En consecuencia, algunos casos pueden calibrar los NA 515 solamente durante intervalos de tiempo durante los cuales se iluminan áreas de cobertura apropiadas. Por ejemplo, las transmisiones de lazo cerrado solamente pueden usarse en intervalos de tiempo durante los cuales hay una cierta superposición entre el área de cobertura de NA 3450 y el área de cobertura de usuario 3460 (p. ej., los NA 515 se comunican sobre un haz de lazo cerrado que puede usar tanto un subsistema de antena de enlace de alimentador 3410 como un subsistema de antena de enlace de usuario 3420 del relé de extremo a extremo 3403). En algunos casos, la calibración apropiada puede depender aún más de cierta superposición entre el rango de frecuencia de enlace descendente de conexión y el rango de frecuencia de enlace descendente de usuario.

Conclusión

Aunque el método y aparato descrito 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 los otros ejemplos. Por lo tanto, la envergadura y alcance de la invención reivindicada no deben limitarse por ninguno de los ejemplos proporcionados anteriormente, sino que más bien se definen por las reivindicaciones.

Los términos y frases utilizados en este documento, y las variaciones de estos, a menos que se indique de cualquier otra manera lo contrario, deben interpretarse como abiertos y no como limitantes. Como ejemplos de lo anterior: el término "que incluye" se usa para significar "que incluye, sin limitación" o lo similar; el término "ejemplo" se usa para proporcionar ejemplos de casos del elemento en discusión, no una lista exhaustiva o limitante de estos; los términos "un" o "una" significan "al menos una" "una o más" o lo similar.

A lo largo de la descripción, el término "acopla" o "acoplado" se usa para referirse ampliamente a una conexión física o eléctrica (que incluye 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 impedancias, amplificadores, atenuadores, filtros, bloques de corriente continua, bloques de corriente alterna, etc.

Un grupo de elementos relacionados con la conjunción “y” significa que no todos y cada uno de estos elementos debe estar presente en la agrupación, sino que incluye todo o cualquier subconjunto de todos, a menos que se indique de cualquier otra manera lo contrario. De manera similar, un grupo de elementos relacionados con la conjunción “o” no requiere exclusividad mutua entre ese grupo, sino que incluye todo o cualquier subconjunto de todos, a menos que se indique de cualquier otra manera lo contrario. Además, aunque los objetos, elementos o componentes del método y aparato descritos pueden describirse o reivindicarse en singular, se contempla que el plural está dentro del alcance de la misma, a menos que la limitación al singular se indique explícitamente.

La presencia de la ampliación de palabras y frases tales como “uno o más”, “al menos”, u otras frases similares en algunos casos no significa que el caso más limitado se prevea o se requiera en los casos en que tales ampliaciones de frases puedan estar ausente.

Aunque los signos de referencia pueden incluirse en las reivindicaciones, estos se proporcionan con la única función de hacer que las reivindicaciones sean más fáciles de entender, y la inclusión (u omisión) de signos de referencia no debe considerarse como limitante del alcance de la materia protegida por las reivindicaciones.