

MÉTODOS, SISTEMA DE UNIDAD DE BANDA BASE Y UNIDAD DE RADIO DE UNA ESTACIÓN BASE DISTRIBUIDA CON UNIDADES DE RADIO ACOPLADAS EN CASCADA

Campo técnico

5 [0001] La presente descripción se refiere en general a métodos, un sistema de unidad de banda base (BBU) y una unidad de radio (RU) de una estación base distribuida que tiene RU acopladas en cascada. Más específicamente, la presente descripción se refiere a una primera RU de un sistema de estación base distribuida, caracterizada porque el sistema de estación base distribuida comprende además una
10 BBU conectada a la primera RU a través de un enlace de fronthaul y una segunda RU conectada a la primera RU a través de un enlace de RU. La presente divulgación también se refiere a un sistema de BBU asociado con el sistema de estación base distribuida. La presente descripción se refiere además a programas de computador y portadoras correspondientes a los métodos, las RU y sistemas antes mencionados.

Antecedentes

[0002] En una red de acceso de radio centralizada (C-RAN), también llamada sistema de estación base distribuida, red de acceso de radio (RAN), el procesamiento lo realizan dos unidades separadas: una unidad de radio (RU) y una unidad de banda base (BBU). La BBU está conectada a la RU a través de un enlace de fronthaul. La
20 RU también puede llamarse unidad de radio remota (RRU). La unidad de banda base también puede denominarse unidad base (BU) o unidad digital o unidad distribuida (DU). La RU está conectada a una o más antenas a través de las cuales la RU se comunica de forma inalámbrica con al menos un equipo de usuario (UE). La BBU está a su vez conectada con otros sistemas de estaciones base o estaciones base, y con
25 una red central de un sistema de comunicación inalámbrica. La BBU está centralizada y normalmente hay más de una RU conectada a cada BBU. Tradicionalmente, la BBU realiza funciones avanzadas de coordinación de radio, como detección conjunta, decodificación conjunta, transmisión multipunto coordinada (CoMP), para aumentar la eficiencia del espectro y la capacidad de la red, así como el procesamiento de

banda base, mientras que las RU realizan procesamiento de radiofrecuencia (RF) y transmisión/recepción de las señales procesadas de RF.

[0003] Originalmente, la RU se diseñó para reducir la pérdida de cable de los cables coaxiales entre la parte superior de la torre de antena donde se encuentran las antenas reales y la parte inferior de la torre de antena donde se aloja la funcionalidad de la estación base. Por lo tanto, antes de la 5a generación de comunicación móvil (5G), es decir, en 4G, por ejemplo, Evolución a largo plazo (LTE), la RU era bastante simple y realizaba principalmente procesamiento de RF con procesamiento de banda base limitado, si la hay.

[0004] Al pasar de 4G a 5G, existía la necesidad de aumentar la capacidad de comunicación inalámbrica hacia los UE para poder entregar las cantidades de datos solicitadas por período de tiempo en 5G. Un habilitador de la evolución móvil hacia 5G es la Entrada múltiple salida múltiple (MIMO) masiva en la que cada RU tiene una pluralidad de antenas. La MIMO masiva aprovecha la multiplexación espacial para mejorar la eficiencia del espectro mediante el uso de conjuntos de antenas en la RU, en los cuales el conjunto de antenas está equipado con N antenas que sirven simultáneamente a K capas de usuario en el mismo recurso de frecuencia de tiempo. El escenario típico es $N \gg K$, por ejemplo, N es 64, 128 o 256 mientras que K es 8 o 16. Como se muestra, el número de antenas es bastante grande. La MIMO masiva a menudo se denomina formación masiva de haces, que puede formar haces estrechos y enfocarse en diferentes direcciones, mitigando el aumento de la pérdida de trayectoria de las bandas de frecuencia más altas. También beneficia a la MIMO multiusuario, que permite las transmisiones desde/hacia múltiples UE simultáneamente a través de canales espaciales separados resueltos por las tecnologías MIMO masivas, manteniendo una alta capacidad para cada UE. Por lo tanto, puede aumentar significativamente la eficiencia del espectro y la capacidad de la celda.

[0005] En la evolución de 5G y en la futura 6a Generación de comunicación móvil, (6G), se espera que la MIMO masiva admita aún más antenas, dado que el costo

por cadena de transceptor disminuiría con el tiempo. Para hacer frente a esta tendencia, se prevé que el procesamiento de la MIMO sea más distribuido y escalable, donde un sistema de MIMO más grande sea procesado por varias RU, cada una de las cuales solo procesa un subconjunto de antenas. Con un diseño tan

5 escalable, el sistema de MIMO puede escalar fácilmente con respecto a la cantidad de antenas.

[0006] Para admitir estas soluciones MIMO masivas, la capacidad de enlace de fronthaul requerida debe aumentar en proporción al aumento del número de antenas, al menos cuando se utiliza la división PHY-RF actual entre la funcionalidad

10 de la BBU y la RU. Esto aumentará drásticamente los costos del enlace de fronthaul.

[0007] Para reducir la capacidad requerida de fronthaul (FH), se analizan y proponen divisiones funcionales dentro de la capa física (PHY). Básicamente, algunas funciones de PHY de banda base se moverán a la RU, que realiza principalmente operaciones relacionadas con la RF en la implementación basada en

15 la Interfaz de radio pública común (CPRI).

[0008] Específicamente, las opciones emergentes de división de capa inferior (LLS) tienen la función de formación de haces ubicada en la RU para reducir la cantidad de flujos de FH de la cantidad de antenas a la cantidad de capas de usuario. Como el número de capas de usuario es mucho menor que el número de antenas

20 en la MIMO masiva, la capacidad de FH requerida y, por lo tanto, los costos de FH se reducen significativamente. Por ejemplo, si el sistema tiene $N = 64$ antenas y $K = 8$ capas de usuarios, solo hay 8 flujos de FH que atraviesan el enlace de FH. Esto puede reducir la capacidad de FH requerida, que también es proporcional a la carga de tráfico. Sin embargo, mover el procesamiento de formación de haces,

25 especialmente el cálculo de formación de haces, a la RU aumenta significativamente la complejidad de la RU. Además, el sistema no es escalable para admitir más antenas. Necesita reemplazar la RU existente para admitir más antenas. También limita la posibilidad de procesamiento de MIMO conjunto para coordinar múltiples RU en diferentes lugares.

[0009] En la "Functional Split of Zero-Forcing Based Massive MIMO for Fronthaul Load Reduction", por Y. Huang, C. Lu, M. Berg y P. Ödling, publicado en IEEE Access, vol. 6, págs. 6350-6359, 2018, se propone un esquema de división funcional intra-PHY entre la BBU y la RU con respecto al enlace ascendente. En lugar de mover todo el procesamiento de formación de haces/MIMO a la RU, el procesamiento de MIMO se descompone en dos partes. La primera parte que requiere menor complejidad se implementa en la RU, mientras que la segunda parte que requiere mayor complejidad se implementa en la BBU. La división funcional intra-PHY propuesta aprovecha una característica de formación de un método conocido de forzamiento cero (ZF) y separa el procesamiento de MIMO en una parte de combinación de relación máxima (MRC) y una parte de cancelación de interferencia. El procesamiento de MRC solo lleva a cabo la transposición hermítica del canal estimado. Esto es computacionalmente liviano y, por lo tanto, el procesamiento de MRC se traslada a la RU. La parte de cancelación de interferencia contiene inversión de matriz, que es computacionalmente pesada. En cambio, esto se lleva a cabo en la BBU. Este esquema reduce la cantidad de flujos de FH a la cantidad de capas y logra el mismo rendimiento que un enfoque original basándose en ZF cuando se implementa totalmente en RU. Sin embargo, la división funcional intra-PHY propuesta utilizando el método basándose en ZF no considera la interferencia entre celdas, es decir, la interferencia de los UE conectados a otras estaciones base. En consecuencia, el rendimiento se degrada cuando hay fuertes interferencias entre celdas.

[0010] El documento WO2020/130895 del presente solicitante describe un método para descargar cierta complejidad de la RU a la BBU y, en al menos algunas realizaciones, hacer que un sistema de estación base sea escalable para admitir más antenas en las RU, manteniendo una carga de tráfico de FH moderada. Partes de esta descripción presentan un método en el que la formulación matemática de un método de Combinación de rechazo de interferencia (IRC) se reformula como un método de ZF (forzado a cero) de un "canal" extendido que incluye aspectos de interferencia, y luego el proceso de ZF se descompone en dos partes. La primera parte realiza la MRC, que es mucho más simple que el IRC completo y, por lo tanto,

se implementa en la RU. La segunda parte toma cálculos restantes, como inversión de matriz, con alta complejidad y se implementa en la BBU.

[00011] Por lo tanto, el número de flujos de FH requeridos puede reducirse al número de capas de usuario deseadas más el número de capas de usuario que interfieren de los UE que interfieren en el mismo canal de otras celdas. Esto es teóricamente sólido ya que el número de grados de libertad está reservado a la BBU para mitigar las interferencias intracelulares e intercelulares, es decir, las interferencias entre las capas de usuario deseadas en la misma celda y las interferencias de las capas de usuario que interfieren en otras celdas.

[00012] La complejidad general del sistema de estación base de WO2020/130895 escala linealmente con el número de antenas, en lugar de una escala cúbica. Sin embargo, WO2020/130895 aborda solo una topología de FH de punto a punto, donde cada RU tiene un enlace de FH dedicado a la BBU, como se muestra en la Figura 1. En el ejemplo de topología de FH de punto a punto de un sistema de estación base distribuida 10 como se muestra en la Figura 1, una primera RU 30 está conectada a una BBU 20 a través de un primer enlace de FH 25, una segunda RU 40 está conectada a la BBU 20 a través de un segundo enlace de FH 35 y una tercera RU 50 está conectada a la BBU 20 a través de un tercer enlace de FH 45. La primera, segunda y tercera RU 30, 40, 50 están dispuestas para transmitir y recibir datos del plano de usuario como señales de antena hacia/desde los UE 31, 32, 33. Dicho FH de punto a punto necesitaría muchas conexiones de fibra y la misma cantidad de puertos de BBU, incluso si esas RU están configuradas como un sistema de MIMO conjunto más grande.

[00013] En esta descripción, por otro lado, se aborda una topología en cascada de RU, como se muestra en la Figura 2. En una topología en cascada, una primera RU 120 está conectada a la BBU 110 sobre un enlace de fronthaul 140 como en la topología de punto a punto. Sin embargo, la segunda RU 160 luego se conecta a la primera RU 120 a través de un enlace de RU-RU 165 separado, y una tercera RU 170 se conecta a la segunda RU 160 a través de otro enlace de RU-RU 175 separado.

Además, si hay más RU, se conectan a su vez a una RU, una tras otra como en una línea. En la Figura 2, solo se ilustran tres RU, pero puede haber muchas más en una topología acoplada en cascada. La implementación de RU en cascada reduciría la cantidad de enlaces de fibra de FH y la cantidad de puertos de BBU a 1. Esto ayudaría a reducir los costos de implementación, es decir, las conexiones de fibra y la complejidad del sistema, es decir, los puertos de BBU.

[00014] Sin embargo, en la topología acoplada en cascada, especialmente cuando se usan los métodos descritos en WO2020/130895, cada RU enviará un flujo de datos separado que incluye datos del plano de usuario de fronthaul y datos del plano de control a través de los mismos enlaces de RU-RU en cascada y hacia la BBU eventualmente a través del enlace de FH 140 entre la BBU 110 y la primera RU 120. Esto aumenta la tasa de bits de FH en cada enlace de RU-RU. Especialmente, el enlace de FH 140 entre la BBU 110 y la primera RU 120 agrega todos los datos de RU, donde el tráfico total aumenta proporcionalmente al número de RU. En este caso, se requieren transceptores ópticos mucho más costosos para manejar el aumento del tráfico de FH para reducir la cantidad de fibras. Además, un puerto de la BBU conectado a la primera RU 120 necesitaría procesar muchos más datos, lo que aumentaría la complejidad de la BBU. En consecuencia, existe la necesidad de una solución para manejar sistemas de estaciones base distribuidas que tengan RU acopladas en cascada a la BBU. Preferiblemente, dicha solución debería lograr mantener baja la cantidad total de datos del plano de usuario y del plano de control de FH enviados a través del enlace de FH, preferiblemente en el mismo nivel del enlace de FH individual en la topología en estrella, y también requerir cambios mínimos en el procesamiento de BBU.

Resumen

[00015] Es un objeto de la invención abordar al menos algunos de los problemas y cuestiones descritos anteriormente. Es posible lograr estos objetos y otros utilizando métodos, nodos de red y dispositivos inalámbricos como se define en las reivindicaciones independientes adjuntas.

[00016] Según un aspecto, se proporciona un método que es realizado por una primera RU de un sistema de estación base distribuida, la primera RU comprendiendo $N1$ antenas. El sistema de estación base distribuida comprende además una BBU conectada a la primera RU a través de un enlace de fronthaul y una segunda RU conectada a la primera RU a través de un enlace de RU, comprendiendo la segunda RU $N2$ antenas. El método comprende obtener primeras señales de enlace ascendente $\mathbf{y}_1$ en el dominio de la frecuencia tal como se recibe en las $N1$ antenas de un número de UE, las primeras señales de enlace ascendente $\mathbf{y}_1$ comprendiendo K señales de la capa de usuario en el dominio de la frecuencia superpuestas con señales de interferencia y ruido. El método comprende además obtener una primera estimación de canal $\hat{\mathbf{H}}_1$ de canales de comunicación inalámbrica $\mathbf{H}_1$ en el dominio de la frecuencia entre el número de UE y las $N1$ antenas, y determinando una primera parte de los BFW para la primera RU basada en la primera estimación de canal $\hat{\mathbf{H}}_1$ y en las señales de referencia recibidas en las $N1$ antenas junto con las primeras señales de enlace ascendente, la primera parte de los BFW siendo utilizada para reducir las $N1$ primeras señales de enlace ascendente a $K + M$ primeras señales intermedias $\tilde{\mathbf{y}}_1$, donde $K + M$ es menor que $N1$. El método comprende además determinar las $K + M$ primeras señales intermedias $\tilde{\mathbf{y}}_1$ basándose en las $N1$ primeras señales de enlace ascendente $\mathbf{y}_1$ y en la primera parte de los BFW para la primera RU, y determinando una primera parte de los BFW intermedios $\mathbf{C}_1$ para cancelación de interferencia en la BBU basada en la primera estimación de canal $\hat{\mathbf{H}}_1$ y en las señales de referencia recibidas en las $N1$ antenas junto con las primeras señales de enlace ascendente. Además, el método comprende recibir, desde la segunda RU, $K + M$ segundas señales intermedias $\tilde{\mathbf{y}}_2$, siendo determinadas las segundas señales intermedias por la segunda RU basándose en las segundas señales de enlace ascendente $\mathbf{y}_2$ en el dominio de la frecuencia tal como se recibe en las $N2$ antenas de la segunda RU a partir del número de UE y en una primera parte de los BFW para la segunda RU determinada por la segunda RU basándose en una estimación del segundo canal $\hat{\mathbf{H}}_2$ de canales de comunicación inalámbrica $\mathbf{H}_2$ en el dominio de la frecuencia entre el número y las $N2$ antenas y en las señales de referencia recibidas en las $N2$ antenas junto con las segundas señales de enlace ascendente, la primera

parte de los BFW de la segunda RU siendo utilizada para reducir las $N2$ segundas señales de enlace ascendente a $K + M$ segundas señales intermedias $\tilde{y}_2$, donde $K + M$ es menor que $N2$. El método comprende además recibir, desde la segunda RU, una segunda parte de los BFW intermedios $\mathbf{C}_2$ para la cancelación de interferencias, determinada por la segunda RU en función de la estimación del segundo canal $\hat{\mathbf{H}}_2$ y en las señales de referencia recibidas en las $N2$ antenas junto con las segundas señales de enlace ascendente. El método comprende además combinar las primeras señales intermedias $\tilde{y}_1$ y las segundas señales intermedias $\tilde{y}_2$ en señales intermedias combinadas $\tilde{y}_1 + \tilde{y}_2$, combinando la primera parte de los BFW intermedios $\mathbf{C}_1$ y la segunda parte de los BFW intermedios $\mathbf{C}_2$ en los BFW intermedios combinados $\mathbf{C}_1 + \mathbf{C}_2$, y enviar, a la BBU a través del enlace de fronthaul, las señales intermedias combinadas $\tilde{y}_1 + \tilde{y}_2$ y los BFW intermedios combinados $\mathbf{C}_1 + \mathbf{C}_2$.

[00017] De acuerdo con otro aspecto, se proporciona un método que es realizado por un sistema de BBU de una red de comunicación inalámbrica. La red de comunicación inalámbrica comprende un sistema de estación base distribuida que tiene una BBU, una primera RU conectada a la BBU a través de un enlace de fronthaul y una segunda RU conectada a la primera RU a través de un enlace de RU. La primera RU comprende $N1$ antenas y la segunda RU comprende $N2$ antenas. El método comprende recibir, desde la primera RU, señales intermedias combinadas $\tilde{y}_1 + \tilde{y}_2$ en el dominio de la frecuencia comprendiendo las primeras señales intermedias $\tilde{y}_1$ y las segundas señales intermedias $\tilde{y}_2$. Las primeras señales intermedias $\tilde{y}_1$ están determinadas por la primera RU en función de las primeras señales de enlace ascendente $\mathbf{y}_1$ tal como se recibieron en las $N1$ antenas de la primera RU de un número de UE. Las primeras señales de enlace ascendente $\mathbf{y}_1$ comprenden K señales de la capa de usuario superpuestas con señales de interferencia y ruido. Las primeras señales intermedias se determinan además en función de una primera parte de los BFW para la primera RU, determinada por la primera RU en función de una primera estimación de canal $\hat{\mathbf{H}}_1$ de canales de comunicación inalámbrica $\mathbf{H}_1$ en el dominio de la frecuencia entre el número de UE y las $N1$ antenas, y en las señales de referencia recibidas en las $N1$ antenas junto con las primeras señales de enlace ascendente. La

primera parte de los BFW siendo utilizada para reducir las $N1$ primeras señales de enlace ascendente a $K + M$ primeras señales intermedias $\tilde{y}_1$, donde $K + M$ es menor que $N1$. Las segundas señales intermedias $\tilde{y}_2$ están determinadas por la segunda RU en función de las segundas señales de enlace ascendente y_2 tal como se recibieron en las $N2$ antenas de la segunda RU a partir del número de UE. Las segundas señales de enlace ascendente y_2 comprenden K señales de la capa de usuario superpuestas con señales de interferencia y ruido. Las segundas señales intermedias se determinan además en función de la primera parte de los BFW para la segunda RU, determinadas por la segunda RU en función de una estimación del segundo canal $\hat{H}_2$ de canales de comunicación inalámbrica H_2 en el dominio de la frecuencia entre el número de UE y las $N2$ antenas, y en las señales de referencia recibidas en las $N2$ antenas junto con las segundas señales de enlace ascendente. El método comprende además recibir de la primera RU, los BFW intermedios combinados $C_1 + C_2$ comprendiendo una primera parte de los BFW intermedios C_1 y una segunda parte de los BFW intermedios C_2 . La primera parte de los BFW intermedios C_1 es determinada por la primera RU en función de la primera estimación de canal $\hat{H}_1$ y en las señales de referencia recibidas en las $N1$ antenas junto con las primeras señales de enlace ascendente. La segunda parte de los BFW intermedios C_2 es determinada por la segunda RU en función de la estimación del segundo canal $\hat{H}_2$ y en las señales de referencia recibidas en las $N2$ antenas junto con las segundas señales de enlace ascendente. El método comprende además determinar una segunda parte de los BFW basada en los BFW intermedios combinados $C_1 + C_2$, y determinando una estimación r de las K señales de la capa de usuario basadas en las señales intermedias combinadas $\tilde{y}_1 + \tilde{y}_2$ y la segunda parte de los BFW.

[00018] De acuerdo con otro aspecto, se proporciona una primera RU que es operable en un sistema de estación base distribuida de una red de comunicación inalámbrica, la primera RU comprendiendo $N1$ antenas. El sistema de estación base distribuida comprende además una BBU conectada a la primera RU a través de un enlace de fronthaul y una segunda RU conectada a la primera RU a través de un enlace de RU. La segunda RU comprende $N2$ antenas La primera RU comprende circuitos de procesamiento y una memoria. Dicha memoria contiene instrucciones

ejecutables por dichos circuitos de procesamiento, por lo que la primera RU es operativa para obtener las primeras señales de enlace ascendente y_1 en el dominio de la frecuencia tal como se recibe en las $N1$ antenas de un número de UE, las primeras señales de enlace ascendente y_1 comprendiendo K señales de la capa de usuario en el dominio de la frecuencia superpuestas con señales de interferencia y ruido, y obtener una primera estimación de canal $\hat{H}_1$ de canales de comunicación inalámbrica H_1 en el dominio de la frecuencia entre el número de UE y las $N1$ antenas. La primera RU también es operativa para determinar una primera parte de los BFW para la primera RU en función de la primera estimación de canal $\hat{H}_1$ y en las señales de referencia recibidas en las $N1$ antenas junto con las primeras señales de enlace ascendente, la primera parte de los BFW siendo utilizada para reducir las $N1$ primeras señales de enlace ascendente a $K + M$ primeras señales intermedias $\tilde{y}_1$, donde $K + M$ es menor que $N1$, y determinando las $K + M$ primeras señales intermedias $\tilde{y}_1$ basándose en las $N1$ primeras señales de enlace ascendente y_1 y en la primera parte de los BFW para la primera RU. La primera RU es además operativa para determinar una primera parte de los BFW intermedios C_1 para cancelación de interferencia en la BBU basada en la primera estimación de canal $\hat{H}_1$ y en las señales de referencia recibidas en las $N1$ antenas junto con las primeras señales de enlace ascendente. La primera RU es además operativa para recibir, de la segunda RU, $K + M$ segundas señales intermedias $\tilde{y}_2$, siendo determinadas las segundas señales intermedias por la segunda RU basándose en las segundas señales de enlace ascendente y_2 en el dominio de la frecuencia tal como se recibe en las $N2$ antenas de la segunda RU a partir del número de UE y en una primera parte de los BFW para la segunda RU determinada por la segunda RU basándose en una estimación del segundo canal $\hat{H}_2$ de canales de comunicación inalámbrica H_2 en el dominio de la frecuencia entre el número de UE y las $N2$ antenas y en las señales de referencia recibidas en las $N2$ antenas junto con las segundas señales de enlace ascendente, la primera parte de los BFW de la segunda RU siendo utilizada para reducir las $N2$ segundas señales de enlace ascendente a $K + M$ segundas señales intermedias $\tilde{y}_2$, donde $K + M$ es menor que $N2$. La primera RU es además operativa para recibir, de la segunda RU, una segunda parte de los BFW intermedios C_2 para la cancelación de interferencias,

determinada por la segunda RU en función de la estimación del segundo canal $\hat{\mathbf{H}}_2$ y en las señales de referencia recibidas en las N_2 antenas junto con las segundas señales de enlace ascendente. La primera RU es además operativa para combinar las primeras señales intermedias $\tilde{\mathbf{y}}_1$ y las segundas señales intermedias $\tilde{\mathbf{y}}_2$ en señales intermedias combinadas $\tilde{\mathbf{y}}_1 + \tilde{\mathbf{y}}_2$, combinando la primera parte de los BFW intermedios $\mathbf{C}_1$ y la segunda parte de los BFW intermedios $\mathbf{C}_2$ en los BFW intermedios combinados $\mathbf{C}_1 + \mathbf{C}_2$, y enviar, a la BBU 110 a través del enlace de fronthaul, las señales intermedias combinadas $\tilde{\mathbf{y}}_1 + \tilde{\mathbf{y}}_2$ y los BFW intermedios combinados $\mathbf{C}_1 + \mathbf{C}_2$.

[00019] De acuerdo con otro aspecto, se proporciona un sistema de BBU que es operable en una red de comunicación inalámbrica. La red de comunicación inalámbrica comprende un sistema de estación base distribuida que tiene una BBU, una primera RU conectada a la BBU a través de un enlace de fronthaul, la primera RU comprendiendo N_1 antenas, y una segunda RU conectada a la primera RU a través de un enlace de RU, la segunda RU comprendiendo N_2 antenas. El sistema de BBU comprende circuitos de procesamiento y una memoria. Dicha memoria contiene instrucciones ejecutables por dichos circuitos de procesamiento, por lo que el sistema de BBU es operativo para recibir, desde la primera RU, señales intermedias combinadas $\tilde{\mathbf{y}}_1 + \tilde{\mathbf{y}}_2$ en el dominio de la frecuencia, comprendiendo primeras señales intermedias $\tilde{\mathbf{y}}_1$ y segundas señales intermedias $\tilde{\mathbf{y}}_2$. Las primeras señales intermedias $\tilde{\mathbf{y}}_1$ están determinadas por la primera RU en función de las primeras señales de enlace ascendente $\mathbf{y}_1$ tal como se recibieron en las N_1 antenas de la primera RU de un número de UE, las primeras señales de enlace ascendente $\mathbf{y}_1$ comprendiendo K señales de la capa de usuario superpuestas con señales de interferencia y ruido, y en la primera parte de los BFW para la primera RU, determinada por la primera RU en función de una primera estimación de canal $\hat{\mathbf{H}}_1$ de canales de comunicación inalámbrica $\mathbf{H}_1$ en el dominio de la frecuencia entre el número de UE y las N_1 antenas y en las señales de referencia recibidas en las N_1 antenas junto con las primeras señales de enlace ascendente, la primera parte de los BFW siendo utilizada para reducir las N_1 primeras señales de enlace ascendente a $K + M$ primeras señales intermedias $\tilde{\mathbf{y}}_1$, donde $K + M$ es menor que N_1 . Las segundas señales intermedias $\tilde{\mathbf{y}}_2$

están determinadas por la segunda RU en función de las segundas señales de enlace ascendente y_2 tal como se recibieron en las N_2 antenas de la segunda RU a partir del número de UE, las señales del segundo enlace ascendente y_2 comprendiendo K señales de la capa de usuario superpuestas con señales de interferencia y ruido, y en la primera parte de los BFW para la segunda RU, determinada por la segunda RU en función de una estimación del segundo canal $\hat{H}_2$ de canales de comunicación inalámbrica H_2 en el dominio de la frecuencia entre el número de UE y las N_2 antenas, y en las señales de referencia recibidas en las N_2 antenas junto con las segundas señales de enlace ascendente. El sistema de BBU es además operativo para recibir desde la primera RU, los BFW intermedios combinados $C_1 + C_2$ comprendiendo una primera parte de los BFW intermedios C_1 y una segunda parte de los BFW intermedios C_2 , la primera parte de los BFW intermedios C_1 siendo determinada por la primera RU en función de la primera estimación de canal $\hat{H}_1$ y en las señales de referencia recibidas en las N_1 antenas junto con las primeras señales de enlace ascendente, la segunda parte de los BFW intermedios C_2 siendo determinada por la segunda RU en función de la estimación del segundo canal $\hat{H}_2$ y en las señales de referencia recibidas en las N_2 antenas junto con las segundas señales de enlace ascendente. El sistema de BBU también es operativo para determinar una segunda parte de los BFW basada en los BFW intermedios combinados $C_1 + C_2$, y para determinar una estimación r de las K señales de la capa de usuario basadas en las señales intermedias combinadas $\tilde{y}_1 + \tilde{y}_2$ y la segunda parte de los BFW.

[00020] Según otros aspectos, también se proporcionan programas de computador y portadoras, cuyos detalles se describirán en las reivindicaciones y la descripción detallada.

[00021] Otras características y beneficios posibles de esta solución se harán evidentes a partir de la descripción detallada a continuación.

Breve descripción de los dibujos

[00022] La solución se describirá ahora con más detalle por medio de realizaciones ejemplares y con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

[00023] La Figura 1 es un diagrama de bloques que ilustra una topología de punto a punto de un sistema de estación base distribuida comprendiendo una pluralidad de RU conectadas a una BBU.

[00024] La Figura 2 es un diagrama de bloques que ilustra una topología en cascada de un sistema de estación base distribuida comprendiendo una pluralidad de RU conectadas a una BBU.

[00025] La Figura 3 es un diagrama de flujo que ilustra un método realizado por una primera RU, según posibles realizaciones.

[00026] La Figura 4 es un diagrama de flujo que ilustra un método realizado por un sistema de BBU, según posibles realizaciones.

[00027] La Figura 5 es un diagrama de bloques en más detalle de una posible realización de un sistema de estación base distribuida para comunicación de UL que tiene un par de RU acopladas en cascada según la presente invención.

[00028] La Figura 6 es un diagrama de bloques en más detalle de una posible realización de un sistema de estación base distribuida para comunicación de UL que tiene L RU acopladas en cascada según la presente invención.

[00029] La Figura 7 es un diagrama de bloques esquemático que ilustra una primera RU con más detalle, según posibles realizaciones adicionales.

[00030] La Figura 8 es un diagrama de bloques esquemático que ilustra un sistema de BBU con más detalle, según posibles realizaciones adicionales.

Descripción detallada

[00031] La Figura 2 ilustra una red de comunicación inalámbrica en la que se puede utilizar la presente invención. La red de comunicación inalámbrica comprende un sistema de estación base distribuida 100, que a su vez comprende una BBU 110 y una primera RU 120. La BBU 110 tiene conexiones con otros nodos de estación base u otros nodos de RAN y además con una red central (simbolizada con 150 en la Figura

2) para que el sistema de estación base distribuida 100 pueda comunicarse con otros nodos de la red de comunicación. La BBU 110 está conectada a la primera RU 120 a través de un enlace de fronthaul 140. El enlace de fronthaul 140 puede ser cualquier tipo de conexión, como una conexión alámbrica o inalámbrica dedicada o una conexión a través de una red, siempre que la conexión cumpla con los requisitos de fronthaul, por ejemplo, en capacidad y latencia. La primera RU 120 tiene además una pluralidad de antenas 121, 122, 123 a través de las cuales se comunican señales inalámbricas hacia y desde uno o más UE 131, 132, 133. Las señales inalámbricas comprenden datos para ser comunicados desde o hacia los UE 131, 132, 133. El sistema de estación base distribuida 100 comprende además una segunda RU 160 que está conectada a la primera RU 120 a través de un enlace de RU 165. Observe que la segunda RU 160 no tiene conexión directa con la BBU 110 pero está conectada a la BBU a través del enlace de RU 165, la primera RU 120 y el enlace de fronthaul 140. La segunda RU 160 tiene además una pluralidad de antenas 161, 162, 163 a través de las cuales se comunican señales inalámbricas hacia y desde uno o más UE 131, 132, 133. El sistema de estación base distribuida 100 puede comprender además una tercera RU 170 que está conectada a la segunda RU 160 a través de un segundo enlace de RU 175. Observe que la tercera RU 170 no tiene conexión directa con la BBU 110 pero está conectada a la BBU a través del segundo enlace de RU 175, la segunda RU 160, el enlace de RU 165, la primera RU 120 y el enlace de fronthaul 140. La tercera RU 170 tiene además una pluralidad de antenas 171, 172, 173 a través de las cuales se comunican señales inalámbricas hacia y desde uno o más UE 131, 132, 133. El sistema de estación base distribuida 100 puede comprender otras RU acopladas en cascada sobre la tercera RU 170 de manera similar.

[00032] La BBU 110 y la primera RU 120, la segunda RU 160 y la tercera RU 170 y cualquier otra RU posible comprenden cada una funcionalidad de RAN para manejar los datos y las señales que se comunicarán entre la BBU 110, las RU 120, 160, 170 y los UE 131, 132, 133. La funcionalidad RAN se distribuye entre la BBU 110 y las RU como se describirá más adelante en esta descripción. Cabe señalar que en 3GPP, la BBU se puede dividir aún más en dos unidades denominadas Unidad distribuida (DU) y Unidad central (CU), donde la DU está dispuesta para realizar el procesamiento de

capa inferior, por ejemplo, L1 y L2 de la BBU, y la CU está dispuesta para realizar un procesamiento de capa superior de la BBU, por ejemplo, L3 y mayor. Tenga en cuenta que la BBU y la RU se denominan O-DU y O-RU, respectivamente, en O-RAN. En la terminología de eCPRI, la BBU y la RU se denominan eREC (Control de equipo de usuario de eCPRI) y eRE (Equipo de radio de eCPRI), respectivamente. En otra terminología, la BBU y la RU pueden denominarse LLS-CU y LLS-DU, respectivamente.

[00033] La red de comunicación inalámbrica 100 puede ser cualquier tipo de red de comunicación inalámbrica que pueda proporcionar acceso por radio a dispositivos inalámbricos. Ejemplos de tales redes de comunicaciones inalámbricas son las redes basadas en el Sistema global para comunicaciones móviles (GSM), Velocidades de datos mejoradas para GSM Evolution (EDGE), Sistema universal de telecomunicaciones móviles (UMTS), Acceso múltiple por división de código 2000 (CDMA 2000), Evolución a largo plazo (LTE), LTE Avanzado, Redes de área local inalámbricas (WLAN), Interoperabilidad mundial para acceso por microondas (WiMAX), WiMAX Avanzado, así como las redes de comunicación inalámbrica de quinta generación (5G) basadas en tecnología como Nueva radio (NR) y cualquier posible red de comunicación inalámbrica de sexta generación futura (6G).

[00034] Los UE 131, 132, 133 pueden ser cualquier tipo de dispositivo de comunicación capaz de comunicarse de forma inalámbrica con las RU 120, 160, 170 usando señales de radio. Por ejemplo, los UE pueden ser un UE de tipo de máquina o un UE capaz de comunicación de máquina a máquina (M2M), un sensor, una tableta, un terminal móvil, un teléfono inteligente, un equipo con computador portátil (LEE), un equipo montado en un computador portátil (LME), un dongle USB, un equipo en las instalaciones del cliente (CPE), etc. El UE también puede denominarse dispositivo de comunicación inalámbrica, o dispositivo inalámbrico.

[00035] La Figura 3, junto con la Figura 2, describe un método realizado por una primera RU 120 de un sistema de estación base distribuida 100, comprendiendo la primera RU 120 *N1* antenas 121, 122, 123. El sistema de estación base distribuida

100 comprende además una BBU 110 conectada a la primera RU 120 a través de un enlace de fronthaul 140 y una segunda RU 160 conectada a la primera RU 120 a través de un enlace de RU 165, comprendiendo la segunda RU $N2$ antenas 161, 162, 163. El método comprende la obtención de 202 primeras señales de enlace ascendente y_1 en el dominio de la frecuencia tal como se recibe en las $N1$ antenas 121, 122, 123 de un número de UE 131, 132, 133, las primeras señales de enlace ascendente y_1 comprendiendo K señales de la capa de usuario en el dominio de la frecuencia superpuestas con señales de interferencia y ruido. El método comprende además obtener 204 una primera estimación de canal $\hat{H}_1$ de canales de comunicación inalámbrica H_1 en el dominio de la frecuencia entre el número de UE 131, 132, 133 y las $N1$ antenas 121, 122, 123, y determinar 208 una primera parte de los pesos de formación de haces (BFW) para la primera RU basada en la primera estimación de canal $\hat{H}_1$ y en las señales de referencia recibidas en las $N1$ antenas junto con las primeras señales de enlace ascendente, la primera parte de los BFW siendo utilizada para reducir las $N1$ primeras señales de enlace ascendente a $K + M$ primeras señales intermedias $\tilde{y}_1$, donde $K + M$ es menor que $N1$. El método comprende además determinar 210 las $K + M$ primeras señales intermedias $\tilde{y}_1$ basándose en las $N1$ primeras señales de enlace ascendente y_1 y en la primera parte de los BFW para la primera RU, y determinar 212 una primera parte de los BFW intermedios C_1 para cancelación de interferencia en la BBU basada en la primera estimación de canal $\hat{H}_1$ y en las señales de referencia recibidas en las $N1$ antenas junto con las primeras señales de enlace ascendente. Además, el método comprende recibir 214, desde la segunda RU 160, $K + M$ segundas señales intermedias $\tilde{y}_2$, siendo determinadas las segundas señales intermedias por la segunda RU basándose en las segundas señales de enlace ascendente y_2 en el dominio de la frecuencia tal como se reciben en las $N2$ antenas 161, 162, 163 de la segunda RU del número de UE 131, 132, 133 y en una primera parte de los BFW para la segunda RU determinada por la segunda RU basándose en una segunda estimación de canal $\hat{H}_2$ de canales de comunicación inalámbrica H_2 en el dominio de la frecuencia entre el número de UE 131, 132, 133 y las $N2$ antenas 161, 162, 163 y en las señales de referencia recibidas en las $N2$ antenas junto con las segundas señales de enlace ascendente, la primera parte de

los BFW de la segunda RU siendo utilizada para reducir las $N2$ segundas señales de enlace ascendente a las $K + M$ segundas señales intermedias $\tilde{y}_2$, dónde $K + M$ es menor que $N2$. El método comprende además recibir 216, desde la segunda RU 160, una segunda parte de los BFW intermedios C_2 para la cancelación de interferencias, determinada por la segunda RU en función de la estimación del segundo canal $\hat{H}_2$ y en las señales de referencia recibidas en las $N2$ antenas junto con las segundas señales de enlace ascendente. El método comprende además combinar 218 las primeras señales intermedias $\tilde{y}_1$ y las segundas señales intermedias $\tilde{y}_2$ en señales intermedias combinadas $\tilde{y}_1 + \tilde{y}_2$, combinando 220 la primera parte de los BFW intermedios C_1 y la segunda parte de los BFW intermedios C_2 en los BFW intermedios combinados $C_1 + C_2$, y enviando 222, a la BBU 110 en el enlace de fronthaul 140, las señales intermedias combinadas $\tilde{y}_1 + \tilde{y}_2$ y los BFW intermedios combinados $C_1 + C_2$.

[00036] Cuando se usa un método de este tipo y una topología en cascada, la capacidad de fronthaul requerida en el enlace de fronthaul se puede mantener en un nivel que es el mismo que la capacidad de fronthaul requerida para cada enlace en una topología en estrella usando el método presentado en WO2020/130895. En otras palabras, debido a la combinación de las primera y segunda señales intermedias, las señales intermedias combinadas mantienen la misma dimensión que una única señal intermedia. Además, debido a la combinación de la primera y segunda BFW intermedios, los BFW intermedios combinados mantiene la misma dimensión que los BFW intermedios de una RU. Además, la dimensión de la señal intermedia combinada y los BFW intermedios combinados mantienen la misma dimensión incluso si aumenta el número de RU en cascada.

[00037] Las "señales de interferencia" son señales que se originan en los UE conectados de forma inalámbrica a otras estaciones base o sistemas de estaciones base distintos de este sistema de estaciones base. Las K señales de la capa de usuario utilizan el mismo recurso de frecuencia de tiempo cuando se transmiten de forma inalámbrica desde los UE a la RU respectiva. $N1$ y $N2$ en "N1/N2 antenas" son números enteros mayores o iguales a 2. La primera y la segunda estimación de canal se basan en las señales de referencia enviadas por los UE 131, 132, 133 hacia la

primera y segunda RU respectivas, y en cómo se reciben las señales de referencia enviadas en la primera y segunda RU respectivas en comparación con el aspecto que tenían cuando se enviaron. Las primeras señales de enlace ascendente y_1 , así como las segundas señales de enlace ascendente y_2 , pueden modelarse como un vector donde cada elemento del vector representa la señal recibida en cada antena entre las $N1$ o $N2$ antenas. La estimación de un canal $\hat{H}$ se determina para un período de tiempo y un rango de frecuencia limitados. Según una realización, el canal se estima para cada bloque de recursos (RB). En esta realización, se determinan muchas estimaciones de canal, por ejemplo, el rango LTE de 20 MHz tiene 100 RB y la NR de 100 MHz tiene 273 RB con una separación entre subportadoras de 30 kHz.

[00038] El propósito principal para la determinación de las primeras señales intermedias utilizando los BFW de la primera parte es reducir el número de flujos de $N1$ a $K + M$, donde K es el número de capas y M es un número que representa los grados de libertad adicionales mantenidos para manejar un número de interferencias co-canal de otras celdas, es decir, señales de UE conectados a otras estaciones base. Básicamente, se usan K grados de libertad para cancelar las interferencias internas entre el número de UE y se usan M grados de libertad para mitigar las interferencias entre celdas de otras celdas. Para lograr el mejor rendimiento, M es un parámetro de diseño que debe ser mayor que el número de interferencias entre celdas dominantes.

[00039] La combinación 218 significa agregar la primera y la segunda señal intermedia por elementos de manera que habrá la misma cantidad de elementos en la señal combinada que en cada una de las señales intermedias. La combinación 220 significa añadir la primera y la segunda parte de los BFW intermedios por elementos de manera que habrá la misma cantidad de elementos en los BFW intermedios combinados que en cada una de las primera y segunda BFW intermedios.

[00040] De acuerdo con una realización, el método comprende además determinar una primera estimación de error G_1 basándose en la primera estimación de canal obtenida $\hat{H}_1$ y en las señales de referencia $y_{ref,m,1}$ recibidas en las $N1$ antenas del número de UE 131, 132, 133 junto con las primeras señales de enlace ascendente,

teniendo las señales de referencia recibidas $\tilde{M}$ símbolos para $m = 1, \dots, \tilde{M}$, dónde $\tilde{M} \geq M$, y caracterizada porque la primera parte de los BFW para la primera RU, así como la primera parte de los BFW intermedios, se determinan 208, 212 basándose también en la primera estimación de error $\mathbf{G}_1$.

5 [00041] En esta realización, la primera parte de los BFW para la primera RU, así como la primera parte de los BFW intermedios, se determinan no solo en función de la primera estimación de canal $\hat{\mathbf{H}}_1$ sino también en la primera estimación de error $\mathbf{G}_1$. Mediante dicha estimación de errores, las interferencias de otros UE conectados a otras estaciones base distintas del sistema de estaciones base descrito se manejan
10 mejor ya que la estimación de errores contiene la información de las interferencias y los ruidos que se utilizan aquí para mitigar las interferencias. Además, las segundas señales intermedias recibidas $\tilde{\mathbf{y}}_2$, y la segunda parte recibida de los BFW intermedios para la segunda RU fueron determinadas por la segunda RU basándose también en una segunda estimación de error $\mathbf{G}_2$ basándose en la estimación del segundo canal
15 $\hat{\mathbf{H}}_2$ y en las señales de referencia $\mathbf{y}_{\text{ref},m,2}$ tal como se recibe en las antenas N2 desde el número de UE 131, 132, 133 junto con las segundas señales de enlace ascendente.

[00042] De acuerdo con una realización, la primera estimación de error $\mathbf{G}_1$ se determina 206 como $\mathbf{G}_1 = \frac{1}{\sqrt{\tilde{M}}} [\hat{\mathbf{g}}_{1,1} \dots \hat{\mathbf{g}}_{\tilde{M},1}]$, dónde $\hat{\mathbf{g}}_{m,1} = \mathbf{y}_{\text{ref},m,1} - \hat{\mathbf{H}} \mathbf{x}_{\text{ref},m}$ para $m = 1, \dots, \tilde{M}$, en donde $\mathbf{x}_{\text{ref},m}$ son las señales de referencia enviadas desde el número de
20 UE.

[00043] De acuerdo con otra realización, la determinación 210 de las primeras señales intermedias $\tilde{\mathbf{y}}_1$ comprende multiplicar las primeras señales de enlace ascendente $\mathbf{y}_1$ con la transposición y conjugación $\mathbf{A}_1^*$ de una primera estimación de canal extendida $\mathbf{A}_1$, que se obtiene basándose en la primera estimación de canal $\hat{\mathbf{H}}_1$
25 y la primera estimación de error $\mathbf{G}_1$. Por lo tanto, el canal extendido representa tanto la información del canal como la información relativa a las interferencias. En otras palabras, la primera parte de los BFW hace que las señales de enlace ascendente de las N1 antenas estén en fase con relación a la estimación del canal extendido antes de combinar las señales intermedias, por lo que las señales de enlace ascendente de

las $N1$ antenas se combinan coherentemente en fase. Además, en la segunda RU, las segundas señales intermedias $\tilde{y}_2$ fueron determinadas por la segunda RU multiplicando las segundas señales de enlace ascendente y_2 con la transposición y conjugación A_2^* de una segunda estimación de canal extendida A_2 , que se obtiene basándose en la estimación del segundo canal $\hat{H}_2$ y la segunda estimación de error G_2 .

[00044] Según otra realización, la primera parte de los BFW intermedios C_1 se determina 212 multiplicando una transposición y conjugación A_1^* de una primera estimación de canal extendida A_1 , que se obtiene a partir de la primera estimación de canal $\hat{H}_1$ y la primera estimación de error G_1 , con la primera estimación de canal extendida A_1 . Además, en la segunda RU, la segunda parte de los BFW intermedios C_2 se determina multiplicando una transposición y conjugación A_2^* de una segunda estimación de canal extendida A_2 , que se obtiene a partir de la estimación del segundo canal $\hat{H}_2$ y la segunda estimación de error G_2 , con la segunda estimación de canal extendida A_2 .

[00045] La Figura 4, junto con la Figura 2, describe un método realizado por un sistema de BBU 700 de una red de comunicación inalámbrica, la red de comunicación inalámbrica comprendiendo un sistema de estación base distribuida 100 que tiene una BBU 110, una primera RU 120 conectada a la BBU 110 a través de un enlace de fronthaul 140 y una segunda RU 160 conectada a la primera RU 120 a través de un enlace de RU 165. La primera RU comprende $N1$ antenas 121, 122, 123 y la segunda RU comprende $N2$ antenas 161, 162, 163. El método comprende recibir 302, desde la primera RU 120, señales intermedias combinadas $\tilde{y}_1 + \tilde{y}_2$ en el dominio de la frecuencia comprendiendo primeras señales intermedias $\tilde{y}_1$ y segundas señales intermedias $\tilde{y}_2$. Las primeras señales intermedias $\tilde{y}_1$ están determinadas por la primera RU 120 en función de las primeras señales de enlace ascendente y_1 tal como se recibieron en las $N1$ antenas 121, 122, 123 de la primera RU de un número de UE 131, 132, 133. Las primeras señales de enlace ascendente y_1 comprenden K señales de la capa de usuario superpuestas con señales de interferencia y ruido. Las primeras señales intermedias se determinan además en función de una primera parte de los

5 BFW para la primera RU, determinada por la primera RU en función de una primera estimación de canal $\hat{\mathbf{H}}_1$ de canales de comunicación inalámbrica $\mathbf{H}_1$ en el dominio de la frecuencia entre el número UE 131, 132, 133 y las $N1$ antenas 121, 122, 123, y en las señales de referencia recibidas en las $N1$ antenas junto con las primeras señales de enlace ascendente. La primera parte de los BFW siendo utilizada para reducir las $N1$ primeras señales de enlace ascendente a $K + M$ primeras señales intermedias $\tilde{\mathbf{y}}_1$,
10 donde $K + M$ es menor que $N1$. Las segundas señales intermedias $\tilde{\mathbf{y}}_2$ están determinadas por la segunda RU 160 en función de las segundas señales de enlace ascendente $\mathbf{y}_2$ tal como se recibieron en las $N2$ antenas 161, 162, 163 de la segunda RU del número de UE 131, 132, 133. Las segundas señales de enlace ascendente $\mathbf{y}_2$ comprenden K señales de la capa de usuario superpuestas con señales de interferencia y ruido. Las segundas señales intermedias se determinan además en función de la primera parte de los BFW para la segunda RU, determinadas por la segunda RU en función de una estimación del segundo canal $\hat{\mathbf{H}}_2$ de canales de comunicación inalámbrica $\mathbf{H}_2$ en el dominio de la frecuencia entre el número de UE
15 131, 132, 133 y las $N2$ antenas 161, 162, 163, y en las señales de referencia recibidas en las $N2$ antenas junto con las segundas señales de enlace ascendente. El método comprende además recibir 304 de la primera RU 120, los BFW intermedios combinados $\mathbf{C}_1 + \mathbf{C}_2$ comprendiendo una primera parte de los BFW intermedios $\mathbf{C}_1$ y una segunda parte de los BFW intermedios $\mathbf{C}_2$. La primera parte de los BFW intermedios $\mathbf{C}_1$ está determinada por la primera RU 120 en función de la primera estimación de canal $\hat{\mathbf{H}}_1$ y en las señales de referencia recibidas en las $N1$ antenas junto con las primeras señales de enlace ascendente. La segunda parte de los BFW intermedios $\mathbf{C}_2$ está determinada por la segunda RU 160 en función de la estimación del segundo canal $\hat{\mathbf{H}}_2$ y en las señales de referencia recibidas en las $N2$ antenas junto
20 con las segundas señales de enlace ascendente. El método comprende además determinar 306 una segunda parte de los BFW basada en los BFW intermedios combinados $\mathbf{C}_1 + \mathbf{C}_2$, y determinando 308 una estimación $\mathbf{r}$ de las K señales de la capa de usuario basadas en las señales intermedias combinadas $\tilde{\mathbf{y}}_1 + \tilde{\mathbf{y}}_2$ y la segunda
25 parte de los BFW.
30

[00046] El sistema de BBU 700 de la red de comunicación inalámbrica que realiza el método puede ser la BBU 110, una unidad en la BBU o en el sistema de estación base distribuida 100. Alternativamente, el sistema de BBU 700 que realiza el método puede estar dispuesto dentro o en cualquier otro nodo de red de la red de comunicación, como un nodo más alejado de los UE, por ejemplo, otro elemento de red en la RAN o cerca de la RAN o de otro nodo de la RAN. En esta alternativa, y en la realización de la solución en la nube que se analiza a continuación, la BBU 110 recibe, desde la primera RU 120, las señales intermedias combinadas $\tilde{y}_1 + \tilde{y}_2$ y los BFW intermedios combinados $\mathbf{C}_1 + \mathbf{C}_2$, y comunica las señales intermedias combinadas $\tilde{y}_1 + \tilde{y}_2$ y los BFW intermedios combinados $\mathbf{C}_1 + \mathbf{C}_2$ al otro nodo de red que determina 306, 308 la segunda parte de los BFW, así como la estimación $\mathbf{r}$ de las K señales de capa de usuario. Alternativamente, el sistema de BBU 700 que realiza el método puede ser un grupo de nodos de red, caracterizado porque la funcionalidad para realizar el método se distribuye entre diferentes nodos físicos o virtuales de la red. Esta última puede llamarse una "solución en la nube".

[00047] Según una realización, la determinación 306 de la segunda parte de los BFW comprende la determinación de la segunda parte de los BFW en función de la inversa de los BFW intermedios combinados $\mathbf{C}_1 + \mathbf{C}_2$.

[00048] De acuerdo con una realización, la segunda parte de los BFW se determina 306 como las primeras K filas de la inversa de los BFW intermedios combinados $\mathbf{C}_1 + \mathbf{C}_2$.

[00049] De acuerdo con otra realización, la estimación $\mathbf{r}$ de las K señales de la capa de usuario se determina 308 multiplicando las señales intermedias combinadas $\tilde{y}_1 + \tilde{y}_2$ con la segunda parte de los BFW.

[00050] A continuación, se describe un modelo de una realización de un sistema de estación base en cascada como el que se muestra en la Figura 2. En este sistema, considere un escenario ejemplificado con K capas de usuario, donde K UE son servidos en una celda y cada UE tiene una antena y una capa de usuario, y L las RU en el área local acopladas en cascada a una BBU en una cadena tipo margarita

que sirve a los K UE en la celda. Tenga en cuenta que un UE puede tener más de una antena y más de una capa de usuario. Las RU pueden formar efectivamente un gran conjunto de antenas que sirven a una celda. La primera RU de la cadena, es decir, la RU 1, es la que tiene una interfaz de fronthaul que se conecta a la BBU. En el dominio del elemento de antena o dominio del haz/dirección, el canal de enlace ascendente entre las antenas de los K UE y las N_l antenas o haces de RU l (para $l = 1, \dots, L$) se denota como $\mathbf{H}_l \in \mathbb{C}^{N_l \times K}$. Por lo tanto, el gran conjunto de antenas efectivo tiene por lo tanto $\sum_{l=1}^L N_l$ elementos de antena en total. El canal de enlace ascendente efectivo entre las antenas de los K UE y el conjunto de antenas efectivo combinado comprendiendo L RU serán

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} \mathbf{H}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{H}_L \end{bmatrix} \in \mathbb{C}^{(\sum_{l=1}^L N_l) \times K}$$

Si se realiza una combinación de rechazo de interferencia (IRC) con respecto al conjunto de antenas efectivo, el ecualizador se puede expresarse como

$$\mathbf{W}_{\text{IRC}} = \mathbf{H}^* (\mathbf{H} \mathbf{H}^* + \mathbf{R})^{-1} \quad (1)$$

dónde $\mathbf{R}$ es la matriz de covarianza estimada de interferencia y ruido, y $\mathbf{H}^*$ es la transposición y el conjugado de la matriz de canal de enlace ascendente efectiva $\mathbf{H}$. Una forma de estimar $\mathbf{R}$ es utilizar las señales de interferencia y ruido. Como se muestra en WO2020/130895, el ecualizador, también conocido como matriz de IRC, se puede transformar en

$$\mathbf{W}_{\text{IRC}} = \mathbf{\Lambda}_K (\mathbf{A}^* \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^*$$

dónde $\mathbf{A} = [\mathbf{H} \quad \mathbf{G}]$, $\mathbf{A}$ es una estimación de canal extendida, $\mathbf{A}^*$ es la transposición y conjugación de la matriz de canales extendida $\mathbf{A}$, y $\mathbf{G}$ es la estimación de error. $\mathbf{G}$ se puede componer de al menos tres formas diferentes en función de una matriz de error obtenida a partir de señales de referencia, como las señales de referencia de demodulación (DMRS). Las tres formas diferentes se detallarán más adelante en esta descripción. $\mathbf{\Lambda}_K$ denota las primeras K filas de una $(K + M) \times (K + M)$ matriz de

identidad, donde M es el número de vectores columna en $\mathbf{G}$. Con respecto a las L RU que forman el conjunto de antenas efectivo, la estimación de canal extendida $\mathbf{A}$ se puede describir como

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{A}_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{H}_1 & \mathbf{G}_1 \\ \vdots & \vdots \\ \mathbf{H}_L & \mathbf{G}_L \end{bmatrix} \in \mathbb{C}^{(\sum_{l=1}^L N_l) \times (K+M)}$$

5 dónde $\mathbf{G}_l \in \mathbb{C}^{N_l \times M}$ y $\mathbf{A}_l \in \mathbb{C}^{N_l \times (K+M)}$.

[00051] Por lo tanto, los pesos de formación de haz (BFW) de IRC generales se pueden descomponer como

$$\mathbf{W}_{\text{IRC}} = \underbrace{\Lambda_K \left(\sum_{l=1}^L \mathbf{A}_l^* \mathbf{A}_l \right)^{-1}}_{\text{BBU}} \underbrace{[\mathbf{A}_1^* \cdots \mathbf{A}_L^*]}_{\text{RUs}} \quad (2)$$

Aquí la primera parte de los BFW, $[\mathbf{A}_1^* \cdots \mathbf{A}_L^*]$, representa los pesos de formación

de haces utilizados en las RU donde cada RU individual l utiliza la correspondiente

10 submatriz de $\mathbf{A}_l^*$ como la primera parte de los BFW utilizada por RU l para la primera

formación de haces de la señal recibida de UL. La segunda parte de los BFW

$\Lambda_K (\sum_{l=1}^L \mathbf{A}_l^* \mathbf{A}_l)^{-1}$ se determinan en la BBU en función de los BFW intermedios

combinados $\sum_{l=1}^L \mathbf{A}_l^* \mathbf{A}_l$ para realizar la cancelación de interferencias de las señales de

UL recibidas de todas las RU. Después de estos dos pasos de formación de haces

15 utilizando dos partes de los BFW en las RU y la BBU, respectivamente, las

interferencias entre las señales de la capa de usuario se mitigan de acuerdo con los

criterios IRC derivados. Además, para reducir la cantidad de datos en la cadena de

RU en cascada que se envían a través del enlace de fronthaul de FH (140 en la Figura

2), cada RU de la cadena en cascada combina su propia señal en forma de haz, que

20 también se denomina señal intermedia, con las señales en forma de haz combinadas

de todas las RU anteriores de la cadena, que se reciben de la RU anterior de la

cadena, y luego reenvía la señal combinada a la siguiente RU de la cadena. Cada RU

también combina sus propios BFW intermedios de $\mathbf{A}_l^* \mathbf{A}_l$ con los BFW intermedios

combinados de todas las RU anteriores de la cadena, que se reciben de la RU anterior

25 de la cadena, y luego reenvía los BFW intermedios combinados a la siguiente RU.

Después de recibir los coeficientes combinados de la primera RU en la cadena

conectada a BBU, la BBU calcula la segunda parte de los BFW, en función de los

BFW intermedios combinados recibidos como $\Lambda_K(\sum_{l=1}^L \mathbf{A}_l^* \mathbf{A}_l)^{-1} \mathbf{y}$ aplica la segunda parte de los BFW a la señal combinada recibida de la primera RU. La Figura 5 ilustra el caso de 2 RU en cascada y la Figura 6 el caso de L RU en cascada.

[00052] En la Figura 5, las señales de enlace ascendente enviadas por los UE 431, 432 se reciben en las N_1 antenas de RU1 420 y en las N_2 antenas de RU2 460. En la Figura 5, sin pérdida de generalidad, modelamos directamente el sistema en el dominio de la frecuencia, donde no se muestra la conversión de señales en el dominio del tiempo a señales en el dominio de la frecuencia. Una unidad 422, 462 de Transformación de Fourier discreta (DFT) espacial opcional transforma las señales de enlace ascendente del dominio de la frecuencia del dominio del elemento de la antena al dominio del haz, que se puede utilizar para mejorar la SNR de la señal de los haces fuertes. Básicamente, las señales recibidas en N antenas se transforman en señales de N haces. La i -ésima señal de enlace ascendente recibida en el dominio de la frecuencia en la primera RU 420 se indica como $\mathbf{y}_{i, \text{RU } 1} \in \mathbb{C}^{N_1 \times 1}$, y la i -ésima señal de enlace ascendente recibida en el dominio de la frecuencia en la segunda RU 460 se indica como $\mathbf{y}_{i, \text{RU } 2} \in \mathbb{C}^{N_2 \times 1}$. Luego, en la primera RU, se obtiene la estimación del canal $\hat{\mathbf{H}}_1$ del canal $\mathbf{H}_1$ entre la primera RU 420 y los UE 431, 432. De manera similar, se obtiene la estimación del canal $\hat{\mathbf{H}}_2$ del canal $\mathbf{H}_2$ entre la segunda RU 460 y los UE 431, 432. En el caso de IRC, la matriz de error también se estima y la estimación de error $\mathbf{G}_1$ para la primera RU y $\mathbf{G}_2$ para la segunda RU se derivan en consecuencia para componer los coeficientes de canal extendido $\mathbf{A}_1 = [\hat{\mathbf{H}}_1 \quad \mathbf{G}_1]$ y $\mathbf{A}_2 = [\hat{\mathbf{H}}_2 \quad \mathbf{G}_2]$ para la primera y segunda RU respectivas. Esto se puede realizar en una unidad respectiva denominada unidad de control de formación de haces (BF) 426, 466 de la primera y la segunda RU respectivas. Además, en la respectiva unidad de control de BF 424, 464 de la primera y la segunda RU, se determina la respectiva transposición y conjugación $\mathbf{A}_1^*$ y $\mathbf{A}_2^*$ de la matriz de coeficientes de canal extendida $\mathbf{A}_1$ y $\mathbf{A}_2$. Luego, en una unidad de combinación coherente 422 de la primera RU 420, las señales de enlace ascendente recibidas $\mathbf{y}_{i, \text{RU } 1}$ se multiplican con la transposición y conjugación $\mathbf{A}_1^*$ de la primera matriz de coeficientes de canal extendida $\mathbf{A}_1$ para implementar la combinación coherente. De manera similar, en una unidad de

combinación coherente 462 de la segunda RU 460, las señales de enlace ascendente recibidas $y_{i,RU2}$ se multiplican con la transposición y conjugación A_2^* de la segunda matriz de coeficientes de canal extendida A_2 para implementar la combinación coherente. Esta es la primera parte de la formación de haces y se realiza como se muestra en la RU respectiva. Como resultado, las primeras señales intermedias $\tilde{y}_{i,RU1}$ y las segundas señales intermedias $\tilde{y}_{i,RU2}$ se logran en la primera y la segunda RU, respectivamente.

[00053] Además de recibir señales de enlace ascendente de sus N_1 elementos de antena, el primer RU 420 recibe las segundas señales intermedias $\tilde{y}_{i,RU2}$ desde la segunda RU 460, que la segunda RU 460 envía por el enlace de RU 165 (véase la Figura 2). La primera RU 420 combina, en un combinador 427, sus primeras señales intermedias $\tilde{y}_{i,RU1}$ con las segundas señales intermedias $\tilde{y}_{i,RU2}$ recibidas de la segunda RU 460 en señales intermedias combinadas $\tilde{z}_{i,RU1}$, como $\tilde{z}_{i,RU1} = \tilde{y}_{i,RU2} + \tilde{y}_{i,RU1}$. Las señales intermedias combinadas $\tilde{z}_{i,RU1}$ luego se reenvían a través del enlace de fronthaul a la BBU 410.

[00054] La primera RU 420 determina además en su unidad de control de BF 426 los primeros BFW intermedios $C_1 = A_1^* A_1$. Del mismo modo, la segunda RU 460 determina en su unidad de control de BF 466 los segundos BFW intermedios $C_2 = A_2^* A_2$. La segunda RU 460 envía los segundos BFW intermedios C_2 en el primer enlace de RU a la primera RU, donde se combinan en un combinador 428 con los primeros BFW intermedios C_1 en los BFW intermedios combinados $C_{com} = C_1 + C_2$. Los BFW intermedios combinados luego se envían a través del enlace de fronthaul a la BBU 410. Tenga en cuenta que el uso de unidades de control de BF separadas 426, 466 en cada RU que está a cargo de calcular A_l^* y $A_l^* A_l$ es principalmente con fines ilustrativos. La implementación real puede verse diferente. Por ejemplo, la unidad de control de BF y la unidad de Combinación coherente pueden ser una misma unidad.

[00055] La BBU 410 luego recibe las señales intermedias combinadas $\tilde{z}_{i,RU1}$ y los BFW intermedios combinados C_{com} . Una unidad de control de BF 414 de la BBU

determina una segunda parte de los BFW como $\Lambda_K \mathbf{C}_{\text{com}}^{-1}$ lo que significa las primeras K filas de la inversa de la matriz de BFW intermedios combinados. Las primeras K filas de $\mathbf{C}_{\text{com}}^{-1}$ pueden obtenerse de manera eficiente mediante la matriz de subbloques inversa. Representando $\mathbf{C}_{\text{com}}$ en cuatro matrices de subbloques como

$$\mathbf{C}_{\text{com}} = \begin{bmatrix} \mathbf{B}_1 & \mathbf{B}_3 \\ \mathbf{B}_2 & \mathbf{B}_4 \end{bmatrix}$$

dónde $\mathbf{B}_1$ es una $K \times K$ matriz de subbloques, $\mathbf{B}_2$ es una $M \times K$ matriz de subbloques, $\mathbf{B}_3$ es una $K \times M$ matriz de subbloques y $\mathbf{B}_4$ es una $M \times M$ matriz de subbloques. De acuerdo con la propiedad de inversión de la matriz de bloques, las primeras K filas de $\mathbf{C}_{\text{com}}^{-1}$ se pueden derivar como

$$\Lambda_K \mathbf{C}_{\text{com}}^{-1} = [(\mathbf{B}_1 - \mathbf{B}_3 \mathbf{B}_4^{-1} \mathbf{B}_2)^{-1} \quad -(\mathbf{B}_1 - \mathbf{B}_3 \mathbf{B}_4^{-1} \mathbf{B}_2)^{-1} \mathbf{B}_3 \mathbf{B}_4^{-1}]$$

Realizar la inversión de la matriz es bastante pesado desde el punto de vista computacional, especialmente si hay muchas antenas. Dejar este cálculo a la BBU ahorraría recursos computacionales en las RU. La ecualización de IRC se puede implementar fácilmente en una unidad de cancelación de IRC 412 en la BBU 410 para obtener una buena estimación r de las señales de capa de usuario K de la siguiente manera:

$$\mathbf{r}_i = \Lambda_K \mathbf{C}_{\text{com}}^{-1} \tilde{\mathbf{z}}_{i, \text{RU } 1}$$

La estimación r de las señales de la capa de usuario K se trata posteriormente, por ejemplo, siendo demodulado en un demodulador 416.

[00056] Con referencia a la Figura 6, se proporciona una realización más general cuando se tienen L RU acopladas en cascada. En las RU 520, 560, 570 de la Figura 6, se realizan las operaciones descritas a continuación. Igual que en la Figura 5, sin pérdida de generalidad, en la Figura 6, modelamos directamente el sistema en el dominio de la frecuencia, donde no se muestra la conversión de señal en el dominio del tiempo a señal en el dominio de la frecuencia. La unidad de Transformada discreta de Fourier (DFT) espacial opcional 422, 462, 472 de la RU respectiva transforma la señal de enlace ascendente del dominio de frecuencia del dominio de elemento de antena al dominio de haz, que se puede utilizar para mejorar la SNR de la señal de los haces fuertes. Básicamente, las señales recibidas en N antenas se transforman en señales de N haces. En la RU l para $l = 1, \dots, L$, la i -ésima señal

de enlace ascendente recibida en el dominio de la frecuencia se denota como $\mathbf{y}_{i, \text{RU } l} \in \mathbb{C}^{N_l \times 1}$. La estimación del canal $\hat{\mathbf{H}}_l$ del canal $\mathbf{H}_l$ entre RU l 520, 560, 570 y los UE 431, 432 se obtiene en la respectiva unidad de control de BF 526, 566, 576. En el caso de IRC, la estimación de error $\mathbf{G}_l$ se determina en consecuencia para componer los

5 coeficientes del canal extendido $\mathbf{A}_l = [\hat{\mathbf{H}}_l \quad \mathbf{G}_l]$.

[00057] La transposición y conjugación de los coeficientes del canal extendido $\mathbf{A}_l^*$ de la respectiva RU se determinan en la unidad de control de BF 526, 566, 576 de la respectiva RU 520, 560, 570. Posteriormente, en una unidad de combinación coherente 524, 564, 574 de las respectivas RU 520, 560, 570, las respectivas señales

10 de enlace ascendente recibidas de cada RU $\mathbf{y}_{i, \text{RU } l} \in \mathbb{C}^{N_l \times 1}$ se multiplican por la transposición y la conjugación de los coeficientes del canal extendido $\mathbf{A}_l^*$ para implementar la combinación coherente en la RU respectiva, es decir, para determinar la primera parte de los BFW en la RU respectiva con respecto a los coeficientes de canal extendido como

$$\tilde{\mathbf{y}}_{i, \text{RU } l} = \mathbf{A}_l^* \mathbf{y}_{i, \text{RU } l}$$

Generalmente, $\tilde{\mathbf{y}}_{i, \text{RU } l} \in \mathbb{C}^{(K+M) \times 1}$ es la señal de enlace ascendente recibida procesada en la RU l , denominada señal(es) intermedia(s).

[00058] Además de recibir señales de datos de enlace ascendente de los elementos de la antena, la RU l también recibe flujos de datos reenviados, es decir,

20 señales intermedias y BFW intermedios de RU $(l+1)$ si $l < L$. En otras palabras, RU l recibe señales intermedias reenviadas y BFW intermedios de todas las RU que están ubicadas más lejos de la BBU en la cadena en cascada que la RU l . Permite $\tilde{\mathbf{z}}_{i, \text{RU } (l+1)} \in \mathbb{C}^{(K+M) \times 1}$ indicar las señales intermedias reenviadas donde $\tilde{\mathbf{z}}_{i, \text{RU } L} = \tilde{\mathbf{y}}_{i, \text{RU } L} = \mathbf{A}_L^* \mathbf{y}_{i, \text{RU } L}$, y permite $\sum_{i=l+1}^L \mathbf{C}_i \in \mathbb{C}^{(K+M) \times (K+M)}$ indicar los BFW intermedios

25 reenviados donde $\mathbf{C}_i = \mathbf{A}_i^* \mathbf{A}_i$ de RU $(l+1)$. La RU l combinará las señales intermedias reenviadas junto con su propia señal intermedia procesada $\tilde{\mathbf{y}}_{i, \text{RU } l}$ en señales intermedias combinadas $\tilde{\mathbf{z}}_{i, \text{RU } l}$ como

$$\tilde{\mathbf{z}}_{i, \text{RU } l} = \tilde{\mathbf{z}}_{i, \text{RU } (l+1)} + \tilde{\mathbf{y}}_{i, \text{RU } l}$$

Entonces, la RU l reenvía las señales intermedias combinadas $\tilde{\mathbf{z}}_{i,\text{RU } l}$ a la RU $(l - 1)$ si $l > 1$.

[00059] Además, la RU l determinará, en su unidad de control de BF 526, 566, 576, sus propios BFW intermedios como $\mathbf{A}_l^* \mathbf{A}_l$. Los propios BFW intermedios se combinan luego con los BFW intermedios reenviados desde las RU más abajo en la cadena en cascada en los BFW intermedios combinados actualizados como $\sum_{i=l}^L \mathbf{C}_i$.

Los BFW intermedios combinados $\sum_{i=l}^L \mathbf{C}_i$ en RU l también se reenvían a la RU $(l - 1)$ si $l > 1$. El proceso anterior se repite en cada RU de la cascada hasta que el flujo de datos y los coeficientes llegan a la RU 1 520. La RU 1 combina los flujos de datos intermedios y los BFW intermedios una vez más y envía $\tilde{\mathbf{z}}_{i,\text{RU } 1}$ y $\mathbf{C}_{\text{com}} = \sum_{i=1}^L \mathbf{C}_i$ a través de la interfaz de fronthaul a la BBU 510.

[00060] Nótese que en la Figura 6, en cada RU existe un bloque de control de BF que se encarga de calcular $\mathbf{A}_l^*$ y $\mathbf{A}_l^* \mathbf{A}_l$. Esto es solo con fines ilustrativos. La implementación real puede verse diferente.

[00061] La BBU 510 luego recibe las señales intermedias combinadas $\tilde{\mathbf{z}}_{i,\text{RU } 1}$ y los BFW intermedios combinados $\mathbf{C}_{\text{com}}$ desde la primera RU 520 en el enlace de fronthaul. El proceso de la BBU 510 y sus subunidades de cancelación 512 de IRC, control de BF 514 y demodulador 516 son iguales o sustancialmente iguales que en la BBU 410 de la Figura 5 y las subunidades correspondientes de la BBU de la Figura 5.

[00062] Para determinar la estimación de error $\mathbf{G}_l$, en la RU l para $l = 1, \dots, L$, hay varios métodos diferentes que se pueden utilizar. A continuación, se presentan tres métodos como tres posibles realizaciones. De acuerdo con una primera realización, una vez que el canal deseado $\mathbf{H}_l$ se estima utilizando una señal de referencia, por ejemplo, la señal DMRS, $\mathbf{x}_{\text{ref},m}$, con M símbolos de referencia conocidos para $m = 1, \dots, M$, enviado por los UE, una $N_l \times M$ matriz de la estimación de error $\mathbf{G}_l$ se puede componer como

$$\mathbf{G}_l = 1/\sqrt{M} [\hat{\mathbf{g}}_{1,l} \cdots \hat{\mathbf{g}}_{M,l}]$$

dónde $\hat{\mathbf{g}}_{m,l} = \mathbf{y}_{\text{ref},m,l} - \hat{\mathbf{H}}_l \mathbf{x}_{\text{ref},m,l}$, para $m = 1, \dots, M$, y $\mathbf{y}_{\text{ref},m,\text{RU } l}$ son las señales de referencia recibidas en las antenas de RU l .

[00063] De acuerdo con una segunda realización, la estimación de error se determina como en la primera realización como $\tilde{\mathbf{G}}_l = 1/\sqrt{\tilde{M}}[\tilde{\mathbf{g}}_{1,l} \dots \tilde{\mathbf{g}}_{\tilde{M},l}]$ dónde $\tilde{M} >$

5 M . Luego se lleva a cabo la descomposición de valores singulares (SVD), o un método basándose en análisis de componentes principales (PCA), o un método similar para obtener valores singulares, y vectores singulares izquierdos de $\tilde{\mathbf{G}}_l$. Los M valores singulares más grandes se usan luego para componer una matriz diagonal $\mathbf{\Sigma}_M$ y los vectores singulares izquierdos asociados con los M valores propios más grandes se
10 utilizan para componer una $N_l \times M$ matriz $\mathbf{U}_M$. Entonces $\mathbf{G}_l$ se obtiene como $\mathbf{G}_l = \mathbf{U}_M \mathbf{\Sigma}_M$.

[00064] De acuerdo con una tercera realización, la matriz de covarianza estimada de interferencia y ruido $\mathbf{R}$ mencionado en la Ecuación (1) puede ser estimado por la RU l de varias maneras bajo diferentes criterios de estimación, por ejemplo, mínimo
15 cuadrático (LS), error cuadrático medio mínimo (MMSE), error cuadrático medio lineal mínimo (LMMSE), etc., basándose en, por ejemplo, señales de referencia como la señal de referencia de sondeo (SRS), DMRS y otra información como la estimación de la relación de potencia de señal a interferencia y ruido (SINR) y la retroalimentación del UE sobre las condiciones del canal. Entonces se deja $\hat{\mathbf{R}}_l$ indicar la estimación de
20 la matriz de interferencia-covarianza en RU l . La descomposición de valores propios (EVD) de $\hat{\mathbf{R}}_l$ entonces se expresa como

$$\hat{\mathbf{R}}_l = \mathbf{Q} \mathbf{\Sigma} \mathbf{Q}^{-1} = \mathbf{Q} \bar{\mathbf{\Sigma}}^{1/2} \bar{\mathbf{\Sigma}}^{1/2} \mathbf{Q}^*$$

dónde $\mathbf{Q}$ es la $N_l \times N_l$ matriz de vectores propios y $\bar{\mathbf{\Sigma}}$ es la matriz diagonal cuyos elementos diagonales son los valores propios. Solo M se utilizan los valores propios
25 más fuertes y los vectores propios correspondientes, mientras que el resto de los elementos de la matriz se eliminan. De esta forma se obtiene una matriz de dimensión reducida:

$$\mathbf{G}_l = \mathbf{Q}_M \bar{\mathbf{\Sigma}}_M^{1/2}$$

donde $\bar{\Sigma}_M$ denota una $M \times M$ matriz diagonal compuesta por los mayores M valores propios, y $\mathbf{Q}_M$ está compuesta por M vectores propios correspondientes a los M valores propios más grandes. Si se incluyen los valores propios dominantes, la aproximación es válida que $\hat{\mathbf{R}}_l \approx \mathbf{G}_l \mathbf{G}_l^*$.

- 5 [00065] Excepto para ser utilizado para un sistema de estación base distribuida con RU ubicadas por separado, donde las RU están dispuestas en Placas de circuito impreso (PCB) separadas, las realizaciones descritas anteriormente también pueden usarse en un diseño de RU único grande con múltiples procesadores de radio, donde cada procesador de radio asumiría el papel de una RU en las realizaciones anteriores.
- 10 En este caso, los procesadores de radio/RU del sistema de estación base distribuida pueden estar dispuestos en una misma placa de circuito impreso. Los procesadores de radio se implementan luego en una topología en cascada, es decir, como en la Figura 2. Esto puede reducir significativamente la cantidad de carriles SerDes en la PCB entre los procesadores de radio y una interfaz de fronthaul que se conectará a
- 15 la BBU, en comparación con un diseño de topología en estrella. La capacidad de enlace de fronthaul requerida en general también se reduce significativamente.

- [00066] La Figura 7, junto con la Figura 2, describe una primera RU 120 operable en un sistema de estación base distribuida 100 de una red de comunicación inalámbrica, comprendiendo la primera RU 120 $N1$ antenas 121, 122, 123. El sistema de estación
- 20 base distribuida 100 comprende además una BBU 110 conectada a la primera RU 120 a través de un enlace de fronthaul 140 y una segunda RU 160 conectada a la primera RU 120 a través de un enlace de RU 165. La segunda RU comprende $N2$ antenas 161, 162, 163. La primera RU 120 comprende circuitos de procesamiento 603 y una memoria 604. Dicha memoria contiene instrucciones ejecutables por dichos
- 25 circuitos de procesamiento, por lo que la primera RU 120 es operativa para obtener las primeras señales de enlace ascendente $\mathbf{y}_1$ en el dominio de la frecuencia tal como se recibe en las $N1$ antenas 121, 122, 123 de un número de UE 131, 132, 133, las primeras señales de enlace ascendente $\mathbf{y}_1$ comprendiendo K señales de la capa de usuario en el dominio de la frecuencia superpuestas con señales de interferencia y
- 30 ruido, y obtener una primera estimación de canal $\hat{\mathbf{H}}_1$ de canales de comunicación

inalámbrica $\mathbf{H}_1$ en el dominio de la frecuencia entre el número de UE 131, 132, 133 y las $N1$ antenas 121, 122, 123. La primera RU 120 es además operativa para determinar una primera parte de los BFW para la primera RU basándose en la primera estimación de canal $\hat{\mathbf{H}}_1$ y en las señales de referencia recibidas en las $N1$ antenas
5 junto con las primeras señales de enlace ascendente, la primera parte de los BFW siendo utilizada para reducir las $N1$ primeras señales de enlace ascendente a $K + M$ primeras señales intermedias $\tilde{\mathbf{y}}_1$, donde $K + M$ es menor que $N1$, y determinando las $K + M$ primeras señales intermedias $\tilde{\mathbf{y}}_1$ basándose en las $N1$ primeras señales de enlace ascendente $\mathbf{y}_1$ y en la primera parte de los BFW para la primera RU. La primera
10 RU es además operativa para determinar una primera parte de los BFW intermedios $\mathbf{C}_1$ para cancelación de interferencia en la BBU basada en la primera estimación de canal $\hat{\mathbf{H}}_1$ y en las señales de referencia recibidas en las $N1$ antenas junto con las primeras señales de enlace ascendente. La primera RU es además operativa para recibir, de la segunda RU 160, $K + M$ segundas señales intermedias $\tilde{\mathbf{y}}_2$, siendo
15 determinadas las segundas señales intermedias por la segunda RU basándose en las segundas señales de enlace ascendente $\mathbf{y}_2$ en el dominio de la frecuencia tal como se recibe en las $N2$ antenas 161, 162, 163 de la segunda RU del número de UE 131, 132, 133 y en una primera parte de los BFW para la segunda RU determinada por la segunda RU basándose en una segunda estimación de canal $\hat{\mathbf{H}}_2$ de canales de
20 comunicación inalámbrica $\mathbf{H}_2$ en el dominio de la frecuencia entre el número de UE 131, 132, 133 y las $N2$ antenas 161, 162, 163 y en las señales de referencia recibidas en las $N2$ antenas junto con las segundas señales de enlace ascendente, la primera parte de los BFW de la segunda RU siendo utilizada para reducir las $N2$ segundas señales de enlace ascendente a $K + M$ segundas señales intermedias $\tilde{\mathbf{y}}_2$, donde $K +$
25 M es menor que $N2$. La primera RU es además operativa para recibir, de la segunda RU 160, una segunda parte de los BFW intermedios $\mathbf{C}_2$ para la cancelación de interferencias, determinada por la segunda RU en función de la estimación del segundo canal $\hat{\mathbf{H}}_2$ y en las señales de referencia recibidas en las $N2$ antenas junto con las segundas señales de enlace ascendente. La primera RU es además operativa
30 para combinar las primeras señales intermedias $\tilde{\mathbf{y}}_1$ y las segundas señales intermedias $\tilde{\mathbf{y}}_2$ en señales intermedias combinadas $\tilde{\mathbf{y}}_1 + \tilde{\mathbf{y}}_2$, combinando la primera

parte de los BFW intermedios $\mathbf{C}_1$ y la segunda parte de los BFW intermedios $\mathbf{C}_2$ en los BFW intermedios combinados $\mathbf{C}_1 + \mathbf{C}_2$, y enviando, a la BBU 110 en el enlace de fronthaul 140, las señales intermedias combinadas $\tilde{\mathbf{y}}_1 + \tilde{\mathbf{y}}_2$ y los BFW intermedios combinados $\mathbf{C}_1 + \mathbf{C}_2$.

5 [00067] De acuerdo con una realización, la primera RU 120 es operativa además para determinar una primera estimación de error $\mathbf{G}_1$ basándose en la primera estimación de canal obtenida $\hat{\mathbf{H}}_1$ y en las señales de referencia $\mathbf{y}_{\text{ref},m,1}$ recibidas en las $N1$ antenas del número de UE 131, 132, 133 junto con las primeras señales de enlace ascendente, teniendo las señales de referencia recibidas $\tilde{M}$ simbolos para $m =$
10 $1, \dots, \tilde{M}$, dónde $\tilde{M} \geq M$, y caracterizada porque la primera RU es operativa para determinar la primera parte de los BFW así como la primera parte de los BFW intermedios basándose también en la primera estimación de error $\mathbf{G}_1$.

[00068] De acuerdo con otra realización, la primera RU 120 es operativa para determinar la primera estimación de error $\mathbf{G}_1$ como $\mathbf{G}_1 = \frac{1}{\sqrt{M}} [\hat{\mathbf{g}}_{1,1} \dots \hat{\mathbf{g}}_{\tilde{M},1}]$, dónde
15 $\hat{\mathbf{g}}_{m,1} = \mathbf{y}_{\text{ref},m,1} - \hat{\mathbf{H}} \mathbf{x}_{\text{ref},m}$ para $m = 1, \dots, \tilde{M}$, en donde $\mathbf{x}_{\text{ref},m}$ son las señales de referencia enviadas desde el número de UE.

[00069] Según otra realización, la primera RU 120 es operativa para determinar las primeras señales intermedias $\tilde{\mathbf{y}}_1$ multiplicando las primeras señales de enlace ascendente $\mathbf{y}_1$ con la transposición y conjugación $\mathbf{A}_1^*$ de una primera estimación de canal extendida $\mathbf{A}_1$, que se obtiene basándose en la primera estimación de canal $\hat{\mathbf{H}}_1$
20 y la primera estimación de error $\mathbf{G}_1$.

[00070] Según otra realización, la primera RU 120 es operativa para determinar la primera parte de los BFW intermedios $\mathbf{C}_1$ multiplicando una transposición y conjugación $\mathbf{A}_1^*$ de una primera estimación de canal extendida $\mathbf{A}_1$, que se obtiene a partir de la primera estimación de canal $\hat{\mathbf{H}}_1$ y la primera estimación de error $\mathbf{G}_1$, con la primera estimación de canal extendida $\mathbf{A}_1$. Según otras realizaciones, la primera RU 120 puede comprender además una unidad de comunicación 602, que puede considerarse comprendiendo medios convencionales para la comunicación
25

inalámbrica con los dispositivos inalámbricos 131, 132, 133, como un transceptor para la transmisión y recepción inalámbrica de señales en la red de comunicación. La unidad de comunicación 602 también puede comprender medios convencionales para la comunicación con la BBU 110. Las instrucciones ejecutables por dichos circuitos de procesamiento 603 pueden disponerse como un programa de computador 605 almacenado, por ejemplo, en dicha memoria 604. Los circuitos de procesamiento 603 y la memoria 604 pueden disponerse en una subdisposición 601. La subdisposición 601 puede ser un microprocesador y software adecuado y almacenar, por lo tanto, un Dispositivo lógico programable, PLD u otro(s) componente(s) electrónico(s)/circuito(s) de procesamiento configurado(s) para realizar los métodos mencionados anteriormente. En los circuitos de procesamiento 603 pueden comprender uno o más procesadores programables, circuitos integrados específicos de la aplicación, matrices de puertas programables en campo, o combinaciones de estos adaptados para ejecutar instrucciones.

[00071] El programa de computador 605 puede disponerse de manera que cuando sus instrucciones se ejecuten en los circuitos de procesamiento, hagan que la primera RU 120 realice los pasos descritos en cualquiera de las realizaciones descritas de la primera RU 120 y su método. El programa de computador 605 puede ser transportado por un producto de programa de computador conectable a los circuitos de procesamiento 603. El producto del programa de computador puede ser la memoria 604, o al menos estar dispuesto en la memoria. La memoria 604 puede realizarse como, por ejemplo, una RAM (memoria de acceso aleatorio), una ROM (memoria de sólo lectura) o una EEPROM (ROM programable borrable eléctricamente). En algunas realizaciones, una portadora puede contener el programa de computador 605. La portadora puede ser una señal electrónica, una señal óptica, una señal electromagnética, una señal magnética, una señal eléctrica, una señal de radio, una señal de microondas o un medio de almacenamiento legible por computador. El medio de almacenamiento legible por computador puede ser, por ejemplo, un CD, DVD o memoria flash, desde la cual se podría descargar el programa a la memoria 604. Alternativamente, el programa de computador puede almacenarse en un servidor o cualquier otra entidad a la que tenga acceso la primera RU 120 a través de la unidad

de comunicación 602. El programa de computador 605 puede entonces descargarse desde el servidor a la memoria 604.

[00072] La Figura 8, junto con la Figura 2, describen un sistema de BBU 700 operable en una red de comunicación inalámbrica. La red de comunicación inalámbrica comprende un sistema de estación base distribuida 100 que tiene una BBU 110, una primera RU 120 conectada a la BBU 110 a través de un enlace de fronthaul 140, la primera RU comprendiendo $N1$ antenas 121, 122, 123 y una segunda RU 160 conectada a la primera RU 120 a través de un enlace de RU 165, comprendiendo la segunda RU $N2$ antenas 161, 162, 163. El sistema de BBU 700 comprende circuitos de procesamiento 703 y una memoria 704. Dicha memoria contiene instrucciones ejecutables por dichos circuitos de procesamiento, por lo que el sistema de BBU 700 es operativo para recibir, desde la primera RU 120, señales intermedias combinadas $\tilde{y}_1 + \tilde{y}_2$ en el dominio de la frecuencia comprendiendo primeras señales intermedias $\tilde{y}_1$ y segundas señales intermedias $\tilde{y}_2$. Las primeras señales intermedias $\tilde{y}_1$ están determinadas por la primera RU 120 en función de las primeras señales de enlace ascendente y_1 tal como se recibieron en las $N1$ antenas 121, 122, 123 de la primera RU de un número de UE 131, 132, 133, las primeras señales de enlace ascendente y_1 comprendiendo K señales de la capa de usuario superpuestas con señales de interferencia y ruido, y en la primera parte de los BFW para la primera RU, determinada por la primera RU en función de una primera estimación de canal $\hat{H}_1$ de canales de comunicación inalámbrica H_1 en el dominio de la frecuencia entre el número de UE 131, 132, 133 y las $N1$ antenas 121, 122, 123, y en las señales de referencia recibidas en las $N1$ antenas junto con las primeras señales de enlace ascendente, la primera parte de los BFW siendo utilizada para reducir las $N1$ primeras señales de enlace ascendente a $K + M$ primeras señales intermedias $\tilde{y}_1$, donde $K + M$ es menor que $N1$. Las segundas señales intermedias $\tilde{y}_2$ están determinadas por la segunda RU 160 en función de las segundas señales de enlace ascendente y_2 tal como se recibieron en las $N2$ antenas 161, 162, 163 de la segunda RU del número de UE 131, 132, 133, las segundas señales de enlace ascendente y_2 comprendiendo K señales de la capa de usuario superpuestas con señales de interferencia y ruido, y en la primera parte de los BFW para la segunda

RU, determinada por la segunda RU en función de una estimación del segundo canal $\hat{\mathbf{H}}_2$ de canales de comunicación inalámbrica $\mathbf{H}_2$ en el dominio de la frecuencia entre el número de UE 131, 132, 133 y las N_2 antenas 161, 162, 163, y en las señales de referencia recibidas en las N_2 antenas junto con las segundas señales de enlace ascendente. El sistema de BBU 700 es además operativo para recibir desde la primera RU 120, los BFW intermedios combinados $\mathbf{C}_1 + \mathbf{C}_2$ comprendiendo una primera parte de los BFW intermedios $\mathbf{C}_1$ y una segunda parte de los BFW intermedios $\mathbf{C}_2$, la primera parte de los BFW intermedios $\mathbf{C}_1$ siendo determinada por la primera RU 120 basándose en la primera estimación de canal $\hat{\mathbf{H}}_1$ y en las señales de referencia recibidas en las N_1 antenas junto con las primeras señales de enlace ascendente, la segunda parte de los BFW intermedios $\mathbf{C}_2$ siendo determinada por la segunda RU 160 basándose en la estimación del segundo canal $\hat{\mathbf{H}}_2$ y en las señales de referencia recibidas en las N_2 antenas junto con las segundas señales de enlace ascendente. El sistema de BBU 700 es además operativo para determinar una segunda parte de los BFW basada en los BFW intermedios combinados $\mathbf{C}_1 + \mathbf{C}_2$, y para determinar una estimación $\mathbf{r}$ de las K señales de la capa de usuario basadas en las señales intermedias combinadas $\tilde{\mathbf{y}}_1 + \tilde{\mathbf{y}}_2$ y la segunda parte de los BFW.

[00073] El sistema de BBU 700 puede realizarse como la BBU 110 real, como una unidad en la BBU o como una unidad en algún lugar del sistema de estación base distribuida 100. Alternativamente, el sistema de BBU 700 puede estar dispuesto dentro o en cualquier otro nodo de red de la red de comunicación, como un nodo más alejado de los UE, por ejemplo, otro elemento de red en la RAN o cerca de la RAN o de otro nodo de RAN. En esta alternativa, y en la realización de la solución en la nube que se analiza a continuación, la BBU 110 está dispuesta para recibir, desde la primera RU 120, las señales intermedias combinadas $\tilde{\mathbf{y}}_1 + \tilde{\mathbf{y}}_2$ y los BFW intermedios combinados $\mathbf{C}_1 + \mathbf{C}_2$, y para comunicar las señales intermedias combinadas $\tilde{\mathbf{y}}_1 + \tilde{\mathbf{y}}_2$ y los BFW intermedios combinados $\mathbf{C}_1 + \mathbf{C}_2$ al otro nodo de red y el sistema de BBU del otro nodo de red está dispuesto para determinar 306, 308 la segunda parte de los BFW así como la estimación $\mathbf{r}$ de las K señales de capa de usuario. Alternativamente, el sistema de BBU 700 puede realizarse como un grupo de nodos de red, donde la funcionalidad para realizar el sistema de BBU 700 se distribuye entre el grupo de

nodos de red. El grupo de nodos de red puede ser diferentes nodos físicos o virtuales de la red. Esta realización alternativa del sistema de BBU puede llamarse una solución en la nube.

5 [00074] De acuerdo con una realización, el sistema de BBU 700 es operativo para determinar la segunda parte de los BFW determinando la segunda parte de los BFW basándose en el inverso de los BFW intermedios combinados $\mathbf{C}_1 + \mathbf{C}_2$.

[00075] De acuerdo con una realización, el sistema de BBU 700 es operativo para determinar la segunda parte de los BFW como las primeras K filas de la inversa de los BFW intermedios combinados. $\mathbf{C}_1 + \mathbf{C}_2$.

10 [00076] De acuerdo con otra realización, el sistema de BBU 700 es operativo para determinar la estimación $\mathbf{r}$ de las K señales de capa de usuario multiplicando las señales intermedias combinadas $\tilde{\mathbf{y}}_1 + \tilde{\mathbf{y}}_2$ con la segunda parte de los BFW.

[00077] De acuerdo con otras realizaciones, el primer sistema de BBU 700 puede comprender además una unidad de comunicación 702, que puede considerarse
15 comprendiendo medios convencionales para la comunicación con otros nodos de la red de comunicación. En caso de que el sistema de BBU se realice como la BBU 110 real, la unidad de comunicación 702 puede comprender medios convencionales para comunicarse con la primera RU 120. En caso de que el sistema de BBU se realice como otra unidad o nodo diferente a la BBU 110, la unidad de comunicación 702
20 puede comprender medios convencionales para comunicarse con la BBU 110. Las instrucciones ejecutables por dichos circuitos de procesamiento 703 pueden disponerse como un programa de computador 705 almacenado, por ejemplo, en dicha memoria 704. Los circuitos de procesamiento 703 y la memoria 704 pueden disponerse en una subdisposición 701. La subdisposición 701 puede ser un
25 microprocesador y software adecuado y almacenar, por lo tanto, un Dispositivo lógico programable, PLD u otro(s) componente(s) electrónico(s)/circuito(s) de procesamiento configurado(s) para realizar los métodos mencionados anteriormente. En los circuitos de procesamiento 703 pueden comprender uno o más procesadores programables, circuitos integrados específicos de la aplicación, matrices de puertas

programables en campo, o combinaciones de estos adaptados para ejecutar instrucciones.

[00078] El programa de computador 705 puede disponerse de manera que cuando sus instrucciones se ejecuten en los circuitos de procesamiento, hagan que el sistema de BBU 700 realice los pasos descritos en cualquiera de las realizaciones descritas del sistema de BBU 700 y su método. El programa de computador 705 puede ser transportado por un producto de programa de computador conectable a los circuitos de procesamiento 703. El producto del programa de computador puede ser la memoria 704, o al menos estar dispuesto en la memoria. La memoria 704 puede realizarse como, por ejemplo, una RAM (memoria de acceso aleatorio), una ROM (memoria de sólo lectura) o una EEPROM (ROM programable borrrable eléctricamente). En algunas realizaciones, una portadora puede contener el programa de computador 705. La portadora puede ser una señal electrónica, una señal óptica, una señal electromagnética, una señal magnética, una señal eléctrica, una señal de radio, una señal de microondas o un medio de almacenamiento legible por computador. El medio de almacenamiento legible por computador puede ser, por ejemplo, un CD, DVD o memoria flash, desde la cual el programa podría descargarse en la memoria 704. Alternativamente, el programa de computador puede almacenarse en un servidor o cualquier otra entidad a la que el sistema de BBU 700 tenga acceso a través de la unidad de comunicación 702. El programa de computador 705 puede entonces descargarse desde el servidor a la memoria 704.

[00079] Aunque la descripción anterior contiene una pluralidad de especificidades, estas no deben interpretarse como limitantes del alcance del concepto descrito en este documento, sino simplemente como ilustraciones de algunas realizaciones ejemplares del concepto descrito. Se apreciará que el alcance del concepto que se describe en el presente abarca completamente otras realizaciones que pueden resultar evidentes para los expertos en la técnica y que, por consiguiente, el alcance del concepto que se describe en el presente no debe limitarse. La referencia a un elemento en singular no pretende significar "uno y solo uno" a menos que se indique explícitamente, como "uno o más". Todos los equivalentes estructurales y funcionales

de los elementos de las realizaciones descritas anteriormente que son conocidos por los expertos en la técnica se incorporan expresamente en el presente documento como referencia y se pretende que se abarquen en este documento. Además, no es necesario que un aparato o método se ocupe de todos y cada uno de los problemas

5 que se pretende resolver mediante el concepto descrito en la presente, para que se abarque aquí. En las figuras ejemplares, una línea discontinua generalmente significa que la característica dentro de la línea discontinua es opcional.