

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 407 839**

51 Int. Cl.:

**H04B 7/08** (2006.01)

**H04B 7/06** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.10.2003 E 03781560 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.04.2013 EP 1559209**

54 Título: **Estimación de canal y procesamiento espacial para sistemas MIMO TDD**

30 Prioridad:

**25.10.2002 US 421428 P**

**25.10.2002 US 421462 P**

**25.10.2002 US 421309 P**

**23.10.2003 US 693171**

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

**14.06.2013**

73 Titular/es:

**QUALCOMM, INCORPORATED (100.0%)**

**5775 MOREHOUSE DRIVE**

**SAN DIEGO, CA 92121, US**

72 Inventor/es:

**KETCHUM, JOHN, W.;**

**WALLACE, MARK;**

**WALTON, J., RODNEY y**

**HOWARD, STEVEN, J.**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 407 839 T3**

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

## DESCRIPCIÓN

Estimación de canal y procesamiento espacial para sistemas MIMO TDD

**Antecedentes****Campo**

- 5 La presente invención se refiere, en general, a la comunicación de datos, y más específicamente, a técnicas para efectuar la estimación de canal y el procesamiento espacial en sistemas de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO)duplexados por división de tiempo (TDD)

**Antecedentes**

- 10 Un sistema MIMO emplea múltiples antenas de transmisión ( $N_T$ ) y múltiples antenas de recepción ( $N_R$ ) para la transmisión de datos. Un canal MIMO formado por  $N_T$  antenas de transmisión y  $N_R$  antenas de recepción se puede descomponer en  $N_S$  canales independientes, siendo  $N_S \leq \min \{N_T, N_R\}$ . Cada uno de los  $N_S$  canales independientes también se denomina subcanal espacial o modo propio del canal MIMO y corresponde a una dimensión. El sistema MIMO puede proporcionar un rendimiento mejorado (por ejemplo, capacidad de transmisión aumentada) si se utilizan las dimensionalidades adicionales creadas por las múltiples antenas de transmisión y recepción.

- 15 Con el fin de transmitir datos sobre uno o más de los  $N_S$  modos propios del canal MIMO, es necesario efectuar el procesamiento espacial en el receptor y típicamente también en el transmisor. Los flujos de datos transmitidos desde las  $N_T$  antenas de transmisión interfieren unos con los otros en las antenas de recepción. El procesamiento espacial trata de separar los flujos de datos en el receptor para que puedan ser recuperados individualmente.

- 20 Para efectuar el procesamiento espacial, típicamente se requiere una estimación precisa de la respuesta de canal entre el transmisor y el receptor. Para un sistema TDD, el enlace descendente (es decir, el enlace directo) y el enlace ascendente (es decir, el enlace inverso) entre un punto de acceso y un terminal de usuario comparten ambos la misma banda de frecuencia. En este caso, se puede asumir que las respuestas de canal en enlace descendente y en enlace ascendente son recíprocas una con la otra, después de que se haya realizado la calibración (como se describe más adelante) para tener en cuenta las diferencias en las cadenas de transmisión y recepción en el punto de acceso y en el terminal de usuario. Esto es, si  $H$  representa la matriz de respuesta de canal desde la agrupación de antenas A a la agrupación de antenas B, entonces un canal recíproco implica que el acoplamiento desde la agrupación B a la agrupación A viene dada por  $H^T$ , en el que  $M^T$  denota el transpuesto de  $M$ .

- 25 La estimación de canal y el procesamiento espacial para un sistema MIMO típicamente consumen una gran parte de los recursos del sistema. Por tanto, existe una necesidad en la técnica de técnicas para efectuar de manera eficiente la estimación de canal y el procesamiento espacial en un sistema MIMO TDD.

- 30 El documento US 6.452.981 describe la identificación de canal que está siendo realizada por ambos transceptores en un enlace inalámbrico bidireccional, en el que cada transceptor efectúa el procesamiento necesario requerido para determinar su correspondiente canal de Entradas Múltiples y Salidas Múltiples con el fin de formar sus propias ponderaciones espaciales de transmisor y receptor para su uso en el procesamiento espacial.

- 35 El documento WO 02/078211 describe un sistema de procesamiento de señal de espacio - tiempo con una complejidad reducida.

**Sumario**

- 40 Se proporcionan técnicas en la presente memoria descriptiva para efectuar la estimación de canal y el procesamiento espacial de una manera eficiente en un sistema MIMO TDD. Para el sistema MIMO TDD, las características recíprocas del canal se pueden aprovechar para simplificar la estimación de canal y el procesamiento espacial, tanto en el transmisor como en el receptor. Inicialmente, un punto de acceso y un terminal de usuario en el sistema pueden realizar una calibración para determinar las diferencias en las respuestas de sus cadenas de transmisión y recepción y para obtener los factores de corrección utilizados para tener en cuenta las diferencias. La calibración puede ser efectuada para asegurar que el canal "calibrado", con los factores de corrección aplicados, es recíproco. De esta manera, se puede obtener una estimación más precisa de un segundo enlace en base a una estimación derivada de un primer enlace.

- 45 Durante la operación normal, se transmite un MIMO piloto (por ejemplo, por el punto de acceso) sobre el primer enlace (por ejemplo, el enlace descendente) y se utiliza para derivar una estimación de la respuesta de canal para el primer enlace. La estimación de respuesta de canal puede entonces ser descompuesta (por ejemplo, por el terminal de usuario, utilizando la descomposición en valores singulares) para obtener una matriz diagonal de valores singulares y una primera matriz unitaria que contiene los vectores propios izquierdos del primer enlace así como los vectores propios derechos del segundo enlace (por ejemplo, el enlace ascendente). La primera matriz unitaria puede por utilizada de esta manera para realizar el procesamiento espacial para la transmisión de datos recibidos sobre el primer enlace, así como para la transmisión de datos a enviar sobre el segundo enlace.

Una referencia orientada es transmitida sobre el segundo enlace usando los vectores propios en la primera matriz unitaria. Una referencia orientada (o piloto orientado) es un piloto transmitido sobre modos propios específicos utilizando los vectores propios que se utilizan para la transmisión de datos. Esta referencia orientada se puede procesar entonces (por ejemplo, por el punto de acceso) para obtener la matriz diagonal y una segunda matriz unitaria que contiene los vectores propios izquierdos del segundo enlace así como los vectores propios derechos del primer enlace. La segunda matriz unitaria puede ser utilizada de esta manera para realizar el procesamiento espacial para la transmisión de datos recibidos sobre el segundo enlace, así como para la transmisión de datos a enviar sobre el primer enlace.

Diversos aspectos y realizaciones de la invención se describen en más detalle a continuación.

## 10 Breve descripción de los dibujos

Se describen a continuación los diversos aspectos y características de la presente invención en conjunto con los dibujos que siguen, en los que:

La figura 1 es un diagrama de bloques de un punto de acceso y de un terminal de usuario en un sistema MIMO TDD, de acuerdo con una realización de la invención;

15 La figura 2A muestra un diagrama de bloques de las cadenas de transmisión y de recepción en el punto de acceso y en el terminal de usuario, de acuerdo con una realización de la invención;

La figura 2B muestra la aplicación de las matrices de corrección para tener en cuenta las diferencias en las cadenas de transmisión / recepción en el punto de acceso y en el terminal de usuario, de acuerdo con una realización de la invención;

20 La figura 3 muestra el procesamiento espacial para el enlace descendente y el enlace ascendente para un modo de multiplexación espacial, de acuerdo con una realización de la invención;

La figura 4 muestra el procesamiento espacial para el enlace descendente y el enlace ascendente para un modo de orientación de haz, de acuerdo con una realización de la invención; y

25 La figura 5 muestra un proceso para efectuar la estimación de canal y el procesamiento espacial en el punto de acceso y en el terminal de usuario, de acuerdo con una realización de la invención.

## Descripción detallada

La figura 1 es un diagrama de bloques de una realización de un punto de acceso 110 y de un terminal de usuario 150 en un sistema MIMO TDD 100. El punto 110 de acceso está equipado con  $N_{ap}$  antenas de transmisión / recepción para la transmisión / recepción de datos, y el terminal de usuario 150 está equipado con  $N_{ut}$  antenas de transmisión / recepción.

Sobre el enlace descendente, en el punto de acceso 110, un procesador de datos de transmisión (TX) 114 recibe datos de tráfico (es decir, bits de información) desde una fuente de datos 112 y la señalización y otros datos desde un controlador 130. El procesador de datos TX 114 formatea, codifica, intercala, y modula (es decir, mapas de símbolo), los datos para proporcionar símbolos de modulación. Un procesador espacial TX 120 recibe los símbolos de modulación desde el procesador de datos TX 114 y realiza el procesamiento espacial para proporcionar  $N_{ap}$  flujos de símbolos de transmisión, un flujo por cada antena. El procesador espacial TX 120 también multiplexa en símbolos piloto, según sea apropiado (por ejemplo, para la calibración y la operación normal).

Cada modulador (MOD) 122 (que incluye una cadena de transmisión) recibe y procesa un flujo de símbolos de transmisión respectivo para proporcionar una señal modulada correspondiente en enlace descendente. Las señales moduladas en enlace descendente  $N_{ap}$  de los moduladores 122a a 122ap son transmitidas entonces desde  $N_{ap}$  antenas 124a a 124ap, respectivamente.

En el terminal de usuario 150,  $N_{ut}$  antenas 152a a 152ut reciben las señales moduladas en enlace descendente transmitidas, y cada antena proporciona una señal recibida a un demodulador respectivo (DEMODO) 154. Cada demodulador 154 (que incluye una cadena de recepción) realiza el procesamiento complementario al realizado en el modulador 122 y proporciona símbolos recibidos. Un procesador espacial 160 de recepción (RX) a continuación, realiza un procesamiento espacial sobre los símbolos recibidos de todos los demoduladores 154a a 154ut para proporcionar símbolos recuperados, que son estimaciones de los símbolos de modulación enviados por el punto de acceso. Un procesador de datos RX 170 procesa adicionalmente (por ejemplo, demapeado, desentrelazado y decodificado de símbolo) los símbolos recuperados para proporcionar datos decodificados. Los datos decodificados pueden incluir datos de tráfico, de señalización recuperados, y así sucesivamente, que pueden ser proporcionados a un colector de datos 172 para el almacenamiento y / o a un controlador 180 para su posterior procesamiento.

El procesamiento para el enlace ascendente puede ser el mismo o diferente del procesamiento para el enlace descendente. Los datos y la señalización son procesados (por ejemplo, codificados, entrelazados y modulados) por un procesador de datos TX 188 y son procesados espacialmente adicionalmente por un procesador espacial TX 190,

que también multiplexa en símbolos piloto según sea apropiado (por ejemplo, para la calibración y la operación normal). Los símbolos piloto y de transmisión del procesador espacial TX 190 son procesados adicionalmente por moduladores 154a a 154ut para generar  $N_{ut}$  señales moduladas en enlace ascendente, que a continuación son transmitidos por medio de antenas 152a a 152ut al punto de acceso.

- 5 En el punto de acceso 110, las señales moduladas en enlace ascendente son recibidas por las antenas 124a a 124ap, demoduladas por los demoduladores 122a a 122ap, y procesadas por un procesador espacial RX 140 y un procesador de datos RX 142 de forma complementaria a la realizada en el terminal de usuario. Los datos decodificados para el enlace ascendente pueden ser proporcionados a un colector de datos 144 para su almacenamiento y / o al controlador 130 para su posterior procesamiento.
- 10 Los controladores 130 y 180 controlan la operación de diversas unidades de procesamiento en el punto de acceso y en el terminal de usuario, respectivamente. Las unidades de memoria 132 y 182 almacenan datos y códigos de programa utilizados por los controladores 130 y 180, respectivamente.

### 1. Calibración

- 15 Para un sistema TDD, puesto que el enlace descendente y el enlace ascendente comparten la misma banda de frecuencia, existe normalmente un alto grado de correlación entre las respuestas de canal en enlace descendente y en enlace ascendente. Por lo tanto, se puede asumir que las matrices de respuesta de canal en enlace descendente y en enlace ascendente son recíprocas (es decir, transpuestas) una de la otra. Sin embargo, las respuestas de las cadenas de transmisión / recepción en el punto de acceso típicamente no son iguales a las respuestas de las cadenas de transmisión / recepción en el terminal de usuario. Para conseguir un rendimiento mejorado, las diferencias pueden ser determinadas y se tienen en cuentas por medio de la calibración.

- 20 La **figura 2A** muestra un diagrama de bloques de las cadenas de transmisión y de recepción en el punto de acceso 110 y en el terminal de usuario 150, de acuerdo con una realización de la invención. Para el enlace descendente, en el punto de acceso 110, los símbolos (indicados por un vector de "transmisión"  $\underline{x}_{dn}$ ) son procesados por una cadena de transmisión 214 y transmitidos desde  $N_{ap}$  antenas 124 sobre el canal MIMO. En el terminal de usuario 150, las señales en enlace descendente son recibidas por  $N_{ut}$  antenas 152 y procesadas por una cadena de recepción 254 para proporcionar símbolos recibidos (indicados por un vector de "recepción"  $\underline{r}_{dn}$ ). Para el enlace ascendente, en el terminal de usuario 150, los símbolos (indicados por un vector de transmisión  $\underline{x}_{up}$ ) son procesados por una cadena de transmisión 264 y transmitidos desde  $N_{ut}$  antenas 152 sobre el canal MIMO. En el punto de acceso 110, las señales en enlace ascendente son recibidas por  $N_{ap}$  antenas 124 y procesadas por una cadena de recepción 224 para proporcionar símbolos recibidos (indicados por un vector de recepción  $\underline{r}_{up}$ ).

Para el enlace descendente, el vector de recepción  $\underline{r}_{dn}$  en el terminal de usuario (en la ausencia de ruido) se puede expresar como:

$$\underline{r}_{dn} = \underline{R}_{ut} \underline{H} \underline{T}_{ap} \underline{x}_{dn} , \quad \text{Ec. (1)}$$

en la que  $\underline{x}_{dn}$  es el vector de transmisión con  $N_{ap}$  entradas para el enlace descendente;

- 35  $\underline{r}_{dn}$  es el vector de recepción con  $N_{ut}$  entradas;

$\underline{T}_{ap}$  es una matriz diagonal  $N_{ap} \times N_{ap}$  con entradas para las ganancias complejas asociadas con la cadena de transmisión para las  $N_{ap}$  antenas en el punto de acceso;

$\underline{R}_{ut}$  es una matriz diagonal  $N_{ut} \times N_{ut}$  con entradas para las ganancias complejas asociadas con la cadena de recepción para las  $N_{ut}$  antenas en el terminal de usuario; y

- 40  $\underline{H}$  es una matriz  $N_{ut} \times N_{ap}$  de respuesta de canal para el enlace descendente.

Las respuestas de las cadenas de transmisión / recepción y el canal MIMO son típicamente una función de la frecuencia. Por simplicidad, se supone un canal de desvanecimiento plano (es decir, con una respuesta de frecuencia plana) para la derivación que sigue.

- 45 Para el enlace ascendente, el vector de recepción  $\underline{r}_{up}$  en el punto de acceso (en la ausencia de ruido) puede expresarse como:

$$\underline{r}_{up} = \underline{R}_{ap} \underline{H}^T \underline{T}_{ut} \underline{x}_{up} , \quad \text{Ec. (2)}$$

En la que  $\underline{x}_{up}$  es el vector de transmisión con  $N_{ut}$  entradas para el enlace ascendente;

$\underline{r}_{up}$  es el vector de recepción con  $N_{ap}$  entradas;

- 50  $\underline{T}_{ut}$  es una matriz diagonal  $N_{ut} \times N_{ut}$  con entradas para las ganancias complejas asociadas con la cadena de transmisión para las  $N_{ut}$  antenas en el terminal de usuario;

$\underline{\mathbf{R}}_{ap}$  es una matriz diagonal  $N_{ap} \times N_{ap}$  con entradas para las ganancias complejas asociadas con la cadena de recepción para las  $N_{ap}$  antenas en el punto de acceso; y

$\underline{\mathbf{H}}^T$  es una matriz  $N_{ap} \times N_{ut}$  de respuesta de canal para el enlace ascendente.

5 De las ecuaciones (1) y (2), las respuestas "efectivas" de canal en enlace descendente y en enlace ascendente,  $\underline{\mathbf{H}}_{dn}$  y  $\underline{\mathbf{H}}_{up}$ , que incluyen las respuestas de las cadenas de transmisión y de recepción aplicables, pueden ser expresadas como:

$$\underline{\mathbf{H}}_{dn} = \underline{\mathbf{R}}_{ut} \underline{\mathbf{H}} \underline{\mathbf{T}}_{ap} \quad \text{y} \quad \underline{\mathbf{H}}_{up} = \underline{\mathbf{R}}_{up} \underline{\mathbf{H}}^T \underline{\mathbf{T}}_{ut} \quad \text{Ec.(3)}$$

10 Como se muestra en la ecuación (3), si las respuestas de las cadenas de transmisión / recepción en el punto de acceso no son iguales a las respuestas de las cadenas de transmisión / recepción en el terminal de usuario, entonces las respuestas efectivas de canal en enlace descendente y en enlace ascendente no son recíprocas una de la otra, es decir,  $\underline{\mathbf{R}}_{ut} \underline{\mathbf{H}} \underline{\mathbf{T}}_{ap} \neq (\underline{\mathbf{R}}_{ap} \underline{\mathbf{H}}^T \underline{\mathbf{T}}_{ut})^T$ .

Combinando las dos ecuaciones en el conjunto de ecuaciones (3), se puede obtener la siguiente relación:

$$\underline{\mathbf{H}} = \underline{\mathbf{R}}_{ut}^{-1} \underline{\mathbf{H}}_{dn} \underline{\mathbf{T}}_{ap}^{-1} = (\underline{\mathbf{R}}_{ap}^{-1} \underline{\mathbf{H}}_{up} \underline{\mathbf{T}}_{ut}^{-1})^T = \underline{\mathbf{T}}_{ut}^{-1} \underline{\mathbf{H}}_{up}^T \underline{\mathbf{R}}_{ap}^{-1} \quad \text{Ec.(4)}$$

Reordenando la ecuación (4), se obtiene la siguiente:

$$15 \quad \underline{\mathbf{H}}_{up}^T = \underline{\mathbf{T}}_{ut} \underline{\mathbf{R}}_{ut}^{-1} \underline{\mathbf{H}}_{dn} \underline{\mathbf{T}}_{ap}^{-1} \underline{\mathbf{R}}_{ap} = \underline{\mathbf{K}}_{ut}^{-1} \underline{\mathbf{H}}_{dn} \underline{\mathbf{K}}_{ap}$$

o

$$\underline{\mathbf{H}}_{up} = (\underline{\mathbf{K}}_{ut}^{-1} \underline{\mathbf{H}}_{dn} \underline{\mathbf{K}}_{ap})^T, \quad \text{Ec.(5)}$$

en la que  $\underline{\mathbf{K}}_{ut} = \underline{\mathbf{T}}_{ut}^{-1} \underline{\mathbf{R}}_{ut}$  y  $\underline{\mathbf{K}}_{ap} = \underline{\mathbf{T}}_{ap}^{-1} \underline{\mathbf{R}}_{ap}$ . Debido a que  $\underline{\mathbf{T}}_{ut}$ ,  $\underline{\mathbf{R}}_{ut}$ ,  $\underline{\mathbf{T}}_{ap}$ , y  $\underline{\mathbf{R}}_{ap}$  son matrices diagonales,  $\underline{\mathbf{K}}_{ap}$  y  $\underline{\mathbf{K}}_{ut}$  también son matrices diagonales. La ecuación (5) también se puede expresar como:

$$20 \quad \underline{\mathbf{H}}_{up} \underline{\mathbf{K}}_{ut} = (\underline{\mathbf{H}}_{dn} \underline{\mathbf{K}}_{ap})^T \quad \text{Ec. (6)}$$

Se puede ver que las matrices  $\underline{\mathbf{K}}_{ap}$  y  $\underline{\mathbf{K}}_{ut}$  incluyen "factores de corrección" que pueden tener en cuenta las diferencias en las cadenas de transmisión / recepción en el punto de acceso y el terminal de usuario. Esto permitiría la respuesta de canal para un enlace fuese expresada por la respuesta de canal para el otro enlace, como se muestra en la ecuación (5).

25 La calibración se puede realizar para determinar las matrices  $\underline{\mathbf{K}}_{ap}$  y  $\underline{\mathbf{K}}_{ut}$ . Típicamente, la respuesta real del canal  $\underline{\mathbf{H}}$  y las respuestas de la cadena de transmisión / recepción no son conocidas ni pueden ser determinadas exacta o fácilmente. Por el contrario, las respuestas de canal en enlace descendente y en enlace ascendente efectivas,  $\underline{\mathbf{H}}_{dn}$  y  $\underline{\mathbf{H}}_{up}$ , se pueden estimar sobre la base de los pilotos MIMO enviados sobre el enlace descendente y sobre el enlace ascendente, respectivamente. La generación y el uso de pilotos MIMO se describen en detalle en la solicitud de patente norteamericana que se ha mencionado más arriba, número de serie 60/421.309.

30 Las estimaciones de las matrices  $\underline{\mathbf{K}}_{ap}$  y  $\underline{\mathbf{K}}_{ut}$ , que son referidas como matrices de corrección,  $\underline{\mathbf{K}}_{ap}$  y  $\underline{\mathbf{K}}_{ut}$ , pueden ser derivadas en base a las estimaciones de respuesta de canal en enlace descendente y en enlace ascendente,  $\underline{\mathbf{H}}_{dn}$  y  $\underline{\mathbf{H}}_{up}$ , de varias maneras, incluyendo un cálculo de relación de matriz y un cálculo de error cuadrado medio mínimo (MMSE). Para un cálculo de relación de matriz, una matriz  $\underline{\mathbf{C}}$  ( $N_{ut} \times N_{ap}$ ) se calcula en primer lugar como una relación de las estimaciones de respuesta de canal en enlace ascendente y en enlace descendente, de la siguiente manera:

$$35 \quad \underline{\mathbf{C}} = \frac{\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{up}^T}{\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{dn}}, \quad \text{Ec. (7)}$$

en la que se toma la relación elemento por elemento. Cada elemento de  $\underline{\mathbf{C}}$  por lo tanto puede ser calculado como:

$$c_{i,j} = \frac{\hat{h}_{up,i,j}}{\hat{h}_{dn,i,j}}, \quad \text{para } i = \{1 \dots N_w\} \text{ y } j = \{1 \dots N_{ap}\},$$

40 en la que  $\hat{h}_{up,i,j}$  y  $\hat{h}_{dn,i,j}$  son el elemento  $(i, j)$ -ésimo (fila, columna) de  $\underline{\mathbf{H}}_{up}^T$  y  $\underline{\mathbf{H}}_{dn}$ , respectivamente, y  $c_{y,o,j}$  es el elemento  $(i, j)$ -ésimo de  $\underline{\mathbf{C}}$ .

Un vector de corrección para el punto de acceso,  $\hat{\mathbf{K}}_{ap}$ , que incluye sólo los elementos diagonales  $N_{ap}$  de  $\mathbf{K}_{ap}$ , se puede definir para que sea igual a la media de las filas normalizadas de  $\mathbf{C}$ . Cada fila de  $\mathbf{C}$ ,  $\mathbf{c}_i$ , en primer lugar se normaliza dividiendo cada elemento de la fila por el primer elemento de la fila para obtener una fila normalizada correspondiente,  $\tilde{\mathbf{c}}_i$ . Por lo tanto, si  $\mathbf{c}_i(k) = [c_{i,1} \dots c_{i,N_{ap}}]$  es la fila  $i$ -ésima de  $\mathbf{C}$ , entonces la fila normalizada  $\tilde{\mathbf{c}}_i$  se puede expresar como:

$$\tilde{\mathbf{c}}_i(k) = [c_{i,1}(k)/c_{i,1}(k) \dots c_{i,j}(k)/c_{i,1}(k) \dots c_{i,N_{ap}}(k)/c_{i,1}(k)] .$$

El vector de corrección  $\hat{\mathbf{K}}_{ap}(k)$  se establece entonces igual a la media de la  $N_{ut}$  filas normalizadas de  $\mathbf{C}$  y puede ser expresado como:

$$\hat{\mathbf{K}}_{ap} = \frac{1}{N_{ut}} \sum_{i=1}^{N_{ut}} \tilde{\mathbf{c}}_i . \quad \text{Ec.(8)}$$

Debido a la normalización, el primer elemento de  $\hat{\mathbf{K}}_{ap}(k)$  es la unidad.

Un vector de corrección  $\hat{\mathbf{K}}_{ut}(k)$  para el terminal de usuario,  $\hat{\mathbf{K}}_{ut}(k)$  que incluye sólo los elementos diagonales  $N_{ut}$  de  $\mathbf{K}_{ut}(k)$ , se puede definir para que sea igual a la media de las inversas de las columnas normalizadas de  $\mathbf{C}$ . Cada columna  $\mathbf{c}_j$  de  $\mathbf{C}$ , se normaliza en primer lugar escalando cada elemento en la columna con el elemento  $j$ -ésimo del vector  $\hat{\mathbf{K}}_{ap}$ , que se indica como  $K_{ap,j}$ , para obtener una columna normalizada correspondiente,  $\tilde{\mathbf{c}}_j$ . Por lo tanto, si  $\mathbf{c}_j(k) = [c_{1,j} \dots c_{N_{ut},j}]^T$  es la columna  $j$ -ésima de  $\mathbf{C}$ , entonces la columna normalizada  $\tilde{\mathbf{c}}_j$  se puede expresar como:

$$\tilde{\mathbf{c}}_j = [c_{1,j}/K_{ap,j,j} \dots c_{i,j}/K_{ap,j,j} \dots c_{N_{ut},j}/K_{ap,j,j}]^T .$$

El vector de corrección  $\hat{\mathbf{K}}_{ap}$  a continuación, se establece igual a la media de las inversas de las columnas normalizadas  $N_{ap}$  de  $\mathbf{C}$  y puede ser expresado como:

$$\hat{\mathbf{K}}_{ut} = \frac{1}{N_{ap}} \sum_{j=1}^{N_{ap}} \frac{1}{\tilde{\mathbf{c}}_j} , \quad \text{Ec.(9)}$$

en la que la inversión de las columnas normalizadas,  $\tilde{\mathbf{c}}_j(k)$ , se realiza en el sentido de los elementos. La calibración proporciona los vectores de corrección,  $\hat{\mathbf{K}}_{ap}$  y  $\hat{\mathbf{K}}_{ut}$  o las matrices de corrección correspondientes  $\mathbf{K}_{ap}$  y  $\mathbf{K}_{ut}$ , para el punto de acceso y el terminal de usuario, respectivamente.

El cálculo del MMSE para las matrices de corrección  $\mathbf{K}_{ap}$  y  $\mathbf{K}_{ut}$  se describe en detalle en la solicitud de patente norteamericana número de serie 60/421.462 que se ha mencionado más arriba.

La **figura 2B** ilustra la aplicación de las matrices de corrección para tener en cuenta las diferencias en las cadenas de transmisión / recepción en el punto de acceso y el terminal de usuario, de acuerdo con una realización de la invención. Sobre el enlace descendente, el vector de transmisión  $\mathbf{x}_{dn}$  se multiplica en primer lugar con la matriz  $\mathbf{K}_{ap}$  por una unidad 212. El procesamiento posterior por la cadena de transmisión 214 y por la cadena de recepción 254 para el enlace descendente es el mismo que se muestra en la figura 2A. Del mismo modo, sobre el enlace ascendente, el vector de transmisión  $\mathbf{x}_{up}$  se multiplica en primer lugar con la matriz  $\mathbf{K}_{ut}$  por una unidad 262. De nuevo, el procesamiento posterior por la cadena de transmisión 264 y por la cadena de recepción 224 para el enlace ascendente es el mismo que se muestra en la figura 2A.

Las respuestas de canal "calibrado" en enlace descendente y en enlace ascendente observadas por el terminal de usuario y por el punto de acceso, respectivamente, se pueden expresar como:

$$\underline{\mathbf{H}}_{cdn} = \underline{\mathbf{H}}_{dn} \hat{\mathbf{K}}_{up} \quad \text{y} \quad \underline{\mathbf{H}}_{cup} = \underline{\mathbf{H}}_{up} \hat{\mathbf{K}}_{ut} , \quad \text{Ec.(10)}$$

En la que  $\underline{\mathbf{H}}_{cdn}^T$  y  $\underline{\mathbf{H}}_{cup}$  son estimaciones de las expresiones de respuesta de canal calibrado "verdaderas" en la ecuación (6). De las ecuaciones (6) y (10), se puede observar que  $\underline{\mathbf{H}}_{cup} \approx \underline{\mathbf{H}}_{cdn}^T$ . La exactitud de la relación  $\underline{\mathbf{H}}_{cup} \approx \underline{\mathbf{H}}_{cdn}^T$  depende de la precisión de las estimaciones  $\mathbf{K}_{ap}$  and  $\mathbf{K}_{ut}$ , que a su vez dependen de la calidad de las estimaciones de respuesta de canal en enlace descendente y en enlace ascendente,  $\underline{\mathbf{H}}_{dn}$  y  $\underline{\mathbf{H}}_{up}$ . Como se ha mostrado más arriba, una vez que las cadenas de transmisión / recepción han sido calibradas, una estimación de respuesta de canal calibrado obtenida para un enlace (por ejemplo,  $\underline{\mathbf{H}}_{cdn}$ ) se puede utilizar como una estimación de la respuesta de canal calibrado para el otro enlace (por ejemplo,  $\underline{\mathbf{H}}_{cup}$ ).

La calibración para los sistemas MIMO TDD se describe en detalle en la solicitud de patente norteamericana número de serie 60/421.309 y en la solicitud de patente norteamericana número de serie 60/421.462 que se han mencionado más arriba.

## 2. Procesamiento Espacial

Para un sistema MIMO, los datos pueden ser transmitidos sobre uno o más modos propios del canal MIMO. Se puede definir un modo de multiplexación espacial para cubrir la transmisión de datos en múltiples modos propios, y se puede definir un modo de orientación de haz para cubrir la transmisión de datos en un único modo propio. Ambos modos operativos requieren un procesamiento espacial en el transmisor y el receptor.

La estimación de canal y las técnicas de procesamiento espacial descritas en la presente memoria descriptiva pueden ser utilizadas para los sistemas MIMO con y sin OFDM. La OFDM divide eficazmente el ancho de banda total del sistema en un número de ( $N_F$ ) subbandas ortogonales, que también se conocen como contenedores de frecuencia o subcanales. Con la OFDM, cada subbanda es asociada con una subportadora respectiva sobre la cual los datos pueden ser modulados. Para un sistema MIMO que utiliza OFDM (es decir, un sistema MIMO - OFDM), cada modo propio de cada subbanda puede ser visto como un canal de transmisión independiente. Para mayor claridad, se describen más adelante la estimación de canal y las técnicas de procesamiento espacial para un sistema MIMO TDD - OFDM. Para este sistema, se puede suponer que cada subbanda del canal inalámbrico es recíproca.

La correlación entre las respuestas de canal en enlace descendente y en enlace ascendente puede ser aprovechada para simplificar la estimación de canal y el procesamiento espacial en el punto de acceso y en el terminal de usuario para un sistema TDD. Esta simplificación es efectiva después de que la calibración haya sido realizada para tener en cuenta las diferencias en las cadenas de transmisión / recepción. Las respuestas de canal calibrado se pueden expresar como una función de la frecuencia, de la siguiente manera:

$$\underline{\mathbf{H}}_{\text{cdn}}(k) = \underline{\mathbf{H}}_{\text{dn}}(k) \hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{ap}}(k), \quad \text{para } k \in K, \text{ y} \quad \text{Ec.(11)}$$

$$\underline{\mathbf{H}}_{\text{cup}}(k) = \underline{\mathbf{H}}_{\text{up}}(k) \hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{ut}}(k) \approx (\underline{\mathbf{H}}_{\text{dn}}(k) \hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{ap}}(k))^T, \text{ para } k \in K,$$

en las que  $K$  representa un conjunto de todas las subbandas que pueden ser utilizadas para la transmisión de datos (es decir, las "subbandas de datos"). La calibración puede ser realizada de tal manera que las matrices  $\underline{\mathbf{K}}_{\text{ap}}(k)$  y  $\underline{\mathbf{K}}_{\text{ut}}(k)$  son obtenidas para cada una de las subbandas de datos. Alternativamente, la calibración se puede realizar para sólo un subconjunto de todas las subbandas de datos, en cuyo caso las matrices  $\underline{\mathbf{K}}_{\text{ap}}(k)$  y  $\underline{\mathbf{K}}_{\text{ut}}(k)$  de las subbandas "no calibradas" se pueden obtener mediante la interpolación de las matrices de las subbandas "calibradas", tal como se describe en la solicitud de patente norteamericana número de serie 60/421.462 que se ha mencionado más arriba.

La matriz de respuesta de canal  $\underline{\mathbf{H}}(k)$  para cada subbanda puede ser "diagonalizada" para obtener los  $N_S$  modos propios para esa subbanda. Esto se puede lograr realizando ya sea la descomposición en valores singulares en la matriz de respuesta de canal  $\underline{\mathbf{H}}(k)$  o la descomposición en valores propios de la matriz de correlación de  $\underline{\mathbf{H}}(k)$ , que es  $\underline{\mathbf{R}}(k) = \underline{\mathbf{H}}^H(k) \underline{\mathbf{H}}(k)$ . Para mayor claridad, la descomposición en valores singulares se usa en la siguiente descripción.

La descomposición en valores singulares de la matriz de respuesta de canal en enlace ascendente calibrado,  $\underline{\mathbf{H}}_{\text{cup}}(k)$ , se puede expresar como:

$$\underline{\mathbf{H}}_{\text{cup}}(k) = \underline{\mathbf{U}}_{\text{ap}}(k) \underline{\mathbf{\Sigma}}(k) \underline{\mathbf{V}}_{\text{ut}}^H(k), \text{ para } k \in K, \quad \text{Ec.(12)}$$

en la que  $\underline{\mathbf{U}}_{\text{ap}}(k)$  es una matriz unitaria ( $N_{\text{ap}} \times N_{\text{ap}}$ ) de vectores propios izquierdos de  $\underline{\mathbf{H}}_{\text{cup}}(k)$ ;

$\underline{\mathbf{\Sigma}}(k)$  es una matriz diagonal ( $N_{\text{ap}} \times N_{\text{ut}}$ ) de valores singulares de  $\underline{\mathbf{H}}_{\text{cup}}(k)$ ; y

$\underline{\mathbf{V}}_{\text{ut}}(k)$  es una matriz unitaria ( $N_{\text{ut}} \times N_{\text{ut}}$ ) de vectores propios derechos de  $\underline{\mathbf{H}}_{\text{cup}}(k)$ .

Una matriz unitaria se caracteriza por la propiedad  $\underline{\mathbf{M}}^H \underline{\mathbf{M}} = \underline{\mathbf{I}}$ , en la que  $\underline{\mathbf{I}}$  es la matriz de identidad.

Correspondientemente, la descomposición en valores singulares de la matriz de respuesta de canal calibrado en enlace descendente,  $\underline{\mathbf{H}}_{\text{cdn}}(k)$ , se puede expresar como:

$$\underline{\mathbf{H}}_{\text{cdn}}(k) = \underline{\mathbf{V}}_{\text{ut}}^*(k) \underline{\mathbf{\Sigma}}(k) \underline{\mathbf{U}}_{\text{ap}}^T(k), \text{ para } k \in K, \quad \text{Ec.(13)}$$

En la que las matrices  $\underline{\mathbf{V}}_{\text{ut}}^*(k)$  y  $\underline{\mathbf{U}}_{\text{ap}}^T(k)$  son matrices unitarias de los vectores propios izquierdo y derecho, respectivamente, de  $\underline{\mathbf{H}}_{\text{cdn}}(k)$ . Como se muestra en las ecuaciones (12) y (13) y en base a la descripción anterior, las matrices de vectores propios izquierdo y derechos para un enlace son las conjugadas complejas de las matrices de vectores propios derechos e izquierdo, respectivamente, para el otro enlace. Las matrices  $\underline{\mathbf{V}}_{\text{ut}}(k)$ ,  $\underline{\mathbf{V}}_{\text{ut}}^H(k)$ ,  $\underline{\mathbf{V}}_{\text{ut}}^T(k)$  y  $\underline{\mathbf{V}}_{\text{ut}}^{*H}(k)$  y son también formas diferentes de la matriz  $\underline{\mathbf{V}}_{\text{ut}}(k)$ , y las matrices  $\underline{\mathbf{U}}_{\text{ap}}(k)$ ,  $\underline{\mathbf{U}}_{\text{ap}}^H(k)$ ,  $\underline{\mathbf{U}}_{\text{ap}}^T(k)$  y  $\underline{\mathbf{U}}_{\text{ap}}^{*H}(k)$  y son también formas diferentes de la matriz  $\underline{\mathbf{U}}_{\text{ap}}(k)$ . Para simplificar, la referencia a las matrices  $\underline{\mathbf{U}}_{\text{ap}}(k)$  y  $\underline{\mathbf{V}}_{\text{ut}}(k)$  en la siguiente descripción también se puede referir a sus otras diversas formas. Las matrices  $\underline{\mathbf{U}}_{\text{ap}}(k)$  y  $\underline{\mathbf{V}}_{\text{ut}}(k)$  son utilizadas por el punto de ac-

ceso y por el terminal de usuario, respectivamente, para el procesamiento espacial, y están indicadas como tales por sus subíndices. Los vectores propios también se denominan a menudo vectores "de dirección".

La descomposición en valores singulares es descrita con más detalle por Gilbert Strang en un libro titulado "Algebra lineal y sus aplicaciones ", segunda edición, Academic Press, 1980.

- 5 El terminal de usuario puede estimar la respuesta de canal en enlace descendente calibrado en base a un piloto MIMO enviado por el punto de acceso. El terminal de usuario a continuación puede realizar la descomposición en valores singulares para la estimación de respuesta de canal en enlace descendente calibrado  $\hat{\mathbf{H}}_{\text{cdn}}(k)$ , para  $k \in K$ , para obtener la matriz diagonal  $\hat{\Sigma}(k)$  y la matriz  $\hat{\mathbf{V}}_{\text{ut}}(k)$  de vectores propios izquierdos de  $\hat{\mathbf{H}}_{\text{cdn}}(k)$ . Esta descomposi-

10 ción en valores singulares se puede dar como  $\hat{\mathbf{H}}_{\text{cdn}}(k) = \hat{\mathbf{V}}_{\text{ut}}^*(k) \hat{\Sigma}(k) \hat{\mathbf{U}}_{\text{ap}}^T(k)$ , en la que el signo sombrero ("^") por encima de cada matriz indica que es una estimación de la matriz real.

De manera similar, el punto de acceso puede estimar la respuesta de canal en enlace ascendente calibrado sobre la base de un piloto MIMO enviado por el terminal de usuario. El punto de acceso puede entonces efectuar la descomposición en valores singulares para la estimación de respuesta de canal en enlace ascendente calibrado  $\hat{\mathbf{H}}_{\text{cup}}(k)$ , para  $k \in K$ , para obtener la matriz diagonal  $\hat{\Sigma}(k)$  y la matriz  $\hat{\mathbf{U}}_{\text{ap}}(k)$  de los vectores propios izquierdos de  $\hat{\mathbf{H}}_{\text{cup}}(k)$ . Esta

15 descomposición en valores singulares se puede dar como  $\hat{\mathbf{H}}_{\text{cup}}(k) = \hat{\mathbf{U}}_{\text{ap}}(k) \hat{\Sigma}(k) \hat{\mathbf{V}}_{\text{ut}}^H(k)$ .

Sin embargo, debido al canal recíproco y a la calibración, la descomposición en valores singulares sólo necesita ser realizada por el terminal de usuario o por el punto de acceso. Si es realizada por el terminal de usuario, entonces la matriz  $\hat{\mathbf{V}}_{\text{ut}}(k)$ , para  $k \in K$ , se utiliza para el procesamiento espacial en el terminal de usuario y la matriz  $\hat{\mathbf{U}}_{\text{ap}}(k)$ , para  $k \in K$ , se puede proporcionar al punto de acceso, ya sea en forma directa (es decir, enviando entradas de las matrices  $\hat{\mathbf{U}}_{\text{ap}}(k)$ ) o en una forma indirecta (por ejemplo, por medio de una referencia orientada, como se describe a continuación).

20 Los valores singulares en cada matriz  $\hat{\Sigma}(k)$ , para  $k \in K$ , pueden ser ordenados de tal manera que la primera columna contenga el valor singular más grande, la segunda columna contenga el siguiente valor singular más grande, y así sucesivamente (es decir,  $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \dots \geq \sigma_{N_S}$  en el que  $\sigma_i$  es el valor propio en la columna  $i$ -ésima de  $\hat{\Sigma}(k)$  después del ordenación). Cuando los valores singulares de cada matriz  $\hat{\Sigma}(k)$  están ordenados, los vectores propios (o columnas) de las matrices unitarias asociadas  $\hat{\mathbf{V}}_{\text{ut}}(k)$  y  $\hat{\mathbf{U}}_{\text{ap}}(k)$  para esa subbanda también están ordenados de manera correspondiente. Un modo propio de "banda ancha" se puede definir como el conjunto de modo propio del mismo orden de todas las subbandas después de la ordenación (es decir, el modo propio de banda ancha  $m$ -ésimo incluye el modo propio de banda ancha  $m$ -ésimo de todas las subbandas). Cada modo propio de banda ancha está asociado con un conjunto respectivo de vectores propios para todas las subbandas. El modo propio de banda ancha principal es el asociado con el valor singular más grande en cada matriz  $\hat{\Sigma}(k)$  después de la ordenación.

#### A. Procesamiento espacial en enlace ascendente

El procesamiento espacial por el terminal de usuario para una transmisión en enlace ascendente se puede expresar como:

35 
$$\mathbf{x}_{\text{up}}(k) = \hat{\mathbf{K}}_{\text{ut}}(k) \hat{\mathbf{V}}_{\text{ut}}(k) \mathbf{s}_{\text{up}}(k) \quad , \text{ para } k \in K \quad , \quad \text{Ec. (14)}$$

En la que  $\mathbf{x}_{\text{up}}(k)$  es el vector de transmisión para el enlace ascendente para la subbanda  $k$ -ésima; y  $\mathbf{s}_{\text{up}}(k)$  es un vector de "datos" con hasta  $N_S$  entradas distintas de cero para los símbolos de modulación que deben ser transmitidos sobre los  $N_S$  modos propios de la subbanda  $k$ -ésima.

La transmisión en enlace ascendente recibida en el punto de acceso se puede expresar como:

$$\begin{aligned} \mathbf{r}_{\text{up}}(k) &= \mathbf{H}_{\text{up}}(k) \mathbf{x}_{\text{up}}(k) + \mathbf{n}_{\text{up}}(k) \quad , \text{ para } k \in K \quad , \text{ Ec. (15)} \\ &= \mathbf{H}_{\text{up}}(k) \hat{\mathbf{K}}_{\text{ut}}(k) \hat{\mathbf{V}}_{\text{ut}}(k) \mathbf{s}_{\text{up}}(k) + \mathbf{n}_{\text{up}}(k) \\ &\approx \hat{\mathbf{H}}_{\text{cup}}(k) \hat{\mathbf{V}}_{\text{ut}}(k) \mathbf{s}_{\text{up}}(k) + \mathbf{n}_{\text{up}}(k) \\ &= \hat{\mathbf{U}}_{\text{ap}}(k) \hat{\Sigma}(k) \hat{\mathbf{V}}_{\text{ut}}^H(k) \hat{\mathbf{V}}_{\text{ut}}(k) \mathbf{s}_{\text{up}}(k) + \mathbf{n}_{\text{up}}(k) \\ &= \hat{\mathbf{U}}_{\text{ap}}(k) \hat{\Sigma}(k) \mathbf{s}_{\text{up}}(k) + \mathbf{n}_{\text{up}}(k) \end{aligned}$$

en la que  $\mathbf{r}_{up}(k)$  es el vector recibido para el enlace ascendente para la subbanda k-ésima; y

$\mathbf{n}_{up}(k)$  es ruido gaussiano blanco aditivo (AWGN) para la subbanda k-ésima.

La ecuación (15) utiliza las siguientes relaciones:  $\mathbf{H}_{up}(k) \mathbf{K}_{up}(k) = \mathbf{H}_{cup}(k) \approx \mathbf{H}_{cup}(k)$  y  $\hat{\mathbf{H}}_{cup}(k) = \hat{\mathbf{H}}_{ap(k)} \hat{\Sigma}(k) \mathbf{V}_{up}^{\Lambda T}(k)$

Una matriz de filtro adaptado ponderada  $\mathbf{M}_{ap}(k)$  para la transmisión en enlace ascendente desde el terminal de usuario se puede expresar como:

$$\mathbf{M}_{ap}(k) = \hat{\Sigma}^{-1}(k) \hat{\mathbf{U}}_{ap}^H(k) \quad , \text{ para } k \in K \quad \text{Ec.(16)}$$

El procesamiento espacial (o filtrado adaptado) en el punto de acceso para la transmisión en enlace ascendente recibida puede ser expresado como:

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{s}}_{up}(k) &= \hat{\Sigma}^{-1}(k) \hat{\mathbf{U}}_{ap}^H(k) \mathbf{r}_{up}(k) \\ &= \hat{\Sigma}^{-1}(k) \hat{\mathbf{U}}_{ap}^H(k) (\hat{\mathbf{U}}_{ap}(k) \hat{\Sigma}(k) \mathbf{s}_{up}(k) + \mathbf{n}_{up}(k)) \quad , \text{ para } k \in K \quad , \text{ Ec.(17)} \\ &= \mathbf{s}_{up}(k) + \tilde{\mathbf{n}}_{up}(k) \end{aligned}$$

en la que  $\hat{\mathbf{s}}_{up}(k)$  es una estimación del vector de datos  $\mathbf{s}_{up}(k)$  transmitida por el terminal de usuario sobre el enlace ascendente, y  $\tilde{\mathbf{n}}_{up}(k)$  es el ruido post-procesado.

### B. Procesamiento espacial en enlace descendente

El procesamiento espacial por el punto de acceso para una transmisión en enlace descendente se puede expresar como:

$$\mathbf{x}_{dn}(k) = \hat{\mathbf{K}}_{ap}(k) \hat{\mathbf{U}}_{ap}^*(k) \mathbf{s}_{dn}(k) \quad , \text{ para } k \in K \quad , \quad \text{Ec.(18)}$$

en la que  $\mathbf{x}_{dn}(k)$  es el vector de transmisión y  $\mathbf{s}_{dn}(k)$  es el vector de datos para el enlace descendente.

La transmisión en enlace descendente recibida en el terminal de usuario se puede expresar como:

$$\begin{aligned} \mathbf{r}_{dn}(k) &= \mathbf{H}_{dn}(k) \mathbf{x}_{dn}(k) + \mathbf{n}_{dn}(k) \\ &= \mathbf{H}_{dn}(k) \hat{\mathbf{K}}_{ap}(k) \hat{\mathbf{U}}_{ap}^*(k) \mathbf{s}_{dn}(k) + \mathbf{n}_{dn}(k) \\ &\approx \hat{\mathbf{H}}_{cdn}(k) \hat{\mathbf{U}}_{ap}^*(k) \mathbf{s}_{dn}(k) + \mathbf{n}_{dn}(k) \\ &= \hat{\mathbf{V}}_{ut}^*(k) \hat{\Sigma}(k) \hat{\mathbf{U}}_{ap}^T(k) \hat{\mathbf{U}}_{ap}^*(k) \mathbf{s}_{dn}(k) + \mathbf{n}_{dn}(k) \\ &= \hat{\mathbf{V}}_{ut}^*(k) \hat{\Sigma}(k) \mathbf{s}_{dn}(k) + \mathbf{n}_{dn}(k) \quad , \text{ para } k \in K \quad \text{Ec.(19)} \end{aligned}$$

Una matriz ponderada de filtro adaptado  $\mathbf{M}_{ut}(k)$  para la transmisión en enlace descendente desde el punto de acceso se puede expresar como:

$$\mathbf{M}_{ut}(k) = \hat{\Sigma}^{-1}(k) \hat{\mathbf{V}}_{ut}^T(k) \quad , \text{ para } k \in K \quad \text{Ec.(20)}$$

El procesamiento espacial (o filtrado adaptado) en el terminal de usuario para la transmisión en enlace descendente recibida puede ser expresado como:

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{s}}_{dn}(k) &= \hat{\Sigma}^{-1}(k) \hat{\mathbf{V}}_{ut}^T(k) \mathbf{r}_{dn}(k) \\ &= \hat{\Sigma}^{-1}(k) \hat{\mathbf{V}}_{ut}^T(k) (\hat{\mathbf{V}}_{ut}^*(k) \hat{\Sigma}(k) \mathbf{s}_{dn}(k) + \mathbf{n}_{dn}(k)) \quad , \text{ para } k \in K \quad \text{Ec.(21)} \\ &= \mathbf{s}_{dn}(k) + \tilde{\mathbf{n}}_{dn}(k) \end{aligned}$$

La Tabla 1 resume el procesamiento espacial en el punto de acceso y el terminal de usuario para la transmisión y recepción de datos.

Tabla 1

	Enlace Ascendente	Enlace descendente
<b>Terminal de usuario</b>	Transmitir: $\underline{\mathbf{x}}_{\text{up}}(k) = \hat{\mathbf{K}}_{\text{ut}}(k) \hat{\mathbf{V}}_{\text{ut}}(k) \underline{\mathbf{s}}_{\text{up}}(k)$	Recibir: $\hat{\underline{\mathbf{s}}}_{\text{dn}}(k) = \hat{\underline{\Sigma}}^{-1}(k) \hat{\mathbf{V}}_{\text{ut}}^T(k) \underline{\mathbf{r}}_{\text{dn}}(k)$
<b>Punto de Acceso</b>	Recibir: $\hat{\underline{\mathbf{s}}}_{\text{up}}(k) = \hat{\underline{\Sigma}}^{-1}(k) \hat{\mathbf{U}}_{\text{ap}}^H(k) \underline{\mathbf{r}}_{\text{up}}(k)$	Transmitir: $\underline{\mathbf{x}}_{\text{dn}}(k) = \hat{\mathbf{K}}_{\text{ap}}(k) \hat{\mathbf{U}}_{\text{ap}}^*(k) \underline{\mathbf{s}}_{\text{dn}}(k)$

5 En la descripción anterior y como se muestra en la Tabla 1, las matrices de corrección  $\hat{\mathbf{K}}_{\text{ap}}(k)$  y  $\hat{\mathbf{K}}_{\text{ut}}(k)$  son aplicadas en el lado de transmisión en el punto de acceso y en el terminal de usuario, respectivamente. Las matrices de corrección  $\hat{\mathbf{K}}_{\text{ap}}(k)$  y  $\hat{\mathbf{K}}_{\text{ut}}(k)$  también se pueden combinar con otras matrices diagonales (por ejemplo, tales como las matrices de ponderación  $\hat{\mathbf{W}}_{\text{dn}}(k)$  y  $\hat{\mathbf{W}}_{\text{up}}(k)$  que se utilizan para conseguir la inversión de canal). Sin embargo, las matrices de corrección también se pueden aplicar en el lado de recepción, en lugar de en el lado de transmisión, y esto se encuentra dentro del alcance de la invención.

La **figura 3** es un diagrama de bloques del procesamiento espacial para el enlace descendente y el enlace ascendente en el modo de multiplexado espacial, de acuerdo con una realización de la invención.

15 Para el enlace descendente, en un procesador espacial TX 120x en el punto de acceso 110x, el vector de datos  $\underline{\mathbf{s}}_{\text{dn}}(k)$ , para  $k \in K$ , se multiplica en primer lugar con la matriz  $\hat{\mathbf{U}}_{\text{ap}}^*(k)$  por una unidad 310 y a continuación se multiplica además con la matriz de corrección  $\hat{\mathbf{K}}_{\text{ap}}(k)$  por una unidad 312 para obtener el vector de transmisión  $\underline{\mathbf{x}}_{\text{dn}}(k)$ . El vector  $\underline{\mathbf{x}}_{\text{dn}}(k)$ , para  $k \in K$ , se procesa a continuación por una cadena de transmisión 314 en el modulador 122x y es transmitido sobre el canal MIMO al terminal de usuario 150x. La unidad 310 realiza el procesamiento espacial para la transmisión de datos en enlace descendente.

20 En el terminal de usuario 150x, las señales en enlace descendente son procesadas por una cadena de recepción 354 en el demodulador 154x para obtener el vector de recepción  $\underline{\mathbf{r}}_{\text{dn}}(k)$ , para  $k \in K$ . Dentro de un procesador espacial de RX 160x, el vector de recepción  $\underline{\mathbf{r}}_{\text{dn}}(k)$ , para  $k \in K$ , es multiplicado en primer lugar con la matriz  $\hat{\mathbf{V}}_{\text{ut}}^T(k)$  por una unidad 356 y es escalado adicionalmente por la matriz diagonal inversa  $\hat{\underline{\Sigma}}^{-1}(k)$  por una unidad 358 para obtener el vector  $\hat{\underline{\mathbf{s}}}_{\text{dn}}(k)$ , que es una estimación del vector de datos  $\underline{\mathbf{s}}_{\text{dn}}(k)$ . Las unidades 356 y 358 realizan el procesamiento espacial para el filtrado en enlace descendente adaptado.

30 Para el enlace ascendente, dentro de un procesador espacial TX 190x en el terminal de usuario 150x, el vector de datos  $\underline{\mathbf{s}}_{\text{up}}(k)$ , para  $k \in K$ , se multiplica en primer lugar con la matriz  $\hat{\mathbf{V}}_{\text{ut}}(k)$  por una unidad 360 y a continuación se multiplica adicionalmente con la matriz de corrección  $\hat{\mathbf{K}}_{\text{ut}}(k)$  por una unidad 362 para obtener el vector de transmisión  $\underline{\mathbf{x}}_{\text{up}}(k)$ . El vector  $\underline{\mathbf{x}}_{\text{up}}(k)$ , para  $k \in K$ , a continuación es procesado por una cadena de transmisión 364 dentro del modulador 154x y es transmitido sobre el canal MIMO al punto de acceso 110x. La unidad 360 realiza el procesamiento espacial para la transmisión de datos en enlace ascendente.

35 En el punto de acceso 110x, las señales en enlace ascendente son procesadas por una cadena de recepción 324 dentro del demodulador 122x para obtener el vector de recepción  $\underline{\mathbf{r}}_{\text{up}}(k)$ , para  $k \in K$ . Dentro de un procesador espacial RX 140x, el vector de recepción  $\underline{\mathbf{r}}_{\text{up}}(k)$ , para  $k \in K$ , se multiplica en primer lugar con la matriz  $\hat{\mathbf{U}}_{\text{ap}}^H(k)$  por una unidad 326 y se escala adicionalmente por la matriz diagonal inversa  $\hat{\underline{\Sigma}}^{-1}(k)$  por una unidad 328 para obtener el vector  $\hat{\underline{\mathbf{s}}}_{\text{up}}(k)$ , que es una estimación del vector de datos  $\underline{\mathbf{s}}_{\text{up}}(k)$ . Las unidades 326 y 328 realizan el procesamiento espacial para el filtrado adaptado en enlace ascendente.

### 3. Orientación del haz

40 Para ciertas condiciones de canal, es mejor transmitir datos en solamente un modo propio de banda ancha - típicamente el modo propio de banda ancha mejor o principal. Este puede ser el caso si las relaciones recibidas de señal a ruido (SNR) para todos los otros modos propios de banda ancha son suficientemente pobres, de manera que el rendimiento mejorado se consigue mediante el uso de toda la potencia de transmisión disponible en el modo propio de banda ancha principal.

La transmisión de datos en un modo propio de banda ancha se puede conseguir usando ya sea formación de haz u orientación de haz. Para la formación del haz, los símbolos de modulación son procesados espacialmente con los vectores propios el  $\hat{\mathbf{v}}_{ut,1}(k)$  o  $\hat{\mathbf{u}}_{ap,1}(k)$ , para  $k \in K$ , para el modo propio de banda ancha principal (es decir, la primera columna de  $\mathbf{V}_{ut}(k)$  o  $\mathbf{U}_{ap}(k)$ , después de la ordenación). Para la orientación de haz, los símbolos de modulación son procesados espacialmente con un conjunto de vectores propios "normalizados" (o "saturados")  $\tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k)$  o  $\tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k)$ , para  $k \in K$ , para el modo propio de banda ancha principal. Para mayor claridad, se describe a continuación la orientación de haz para el enlace ascendente.

Para el enlace ascendente, los elementos de cada vector  $\hat{\mathbf{v}}_{ut,1}(k)$ , para  $k \in K$ , para el modo propio principal de banda ancha pueden tener diferentes magnitudes. Por lo tanto, los símbolos preconditionados de cada subbanda, que se obtienen multiplicando el símbolo de modulación para la subbanda k por los elementos del vector propio  $\hat{\mathbf{v}}_{ut,1}(k)$  para la subbanda k, pueden tener entonces diferentes magnitudes. Por consiguiente, los vectores de transmisión por antena, incluyendo cada uno de los cuales los símbolos preconditionados para todas las subbandas de datos para una antena de transmisión dada, pueden tener diferentes magnitudes. Si la potencia de transmisión de cada antena de transmisión es limitada (por ejemplo, debido a las limitaciones de los amplificadores de potencia), entonces la formación de haz puede no utilizar completamente la potencia total disponible para cada antena.

La orientación de haz utiliza sólo la información de fase de los vectores propios  $\hat{\mathbf{v}}_{ut,1}(k)$ , para  $k \in K$ , para el modo propio de banda ancha principal y normaliza cada vector propio de manera que todos los elementos en el vector propio tienen magnitudes iguales. El vector propio normalizado  $\tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k)$  para la subbanda k-ésima se puede expresar como:

20

$$\tilde{\mathbf{v}}_{ui}(k) = [Ae^{j\theta_1(k)} \quad Ae^{j\theta_2(k)} \quad \dots \quad Ae^{j\theta_{N_{ut}}(k)}]^T, \quad \text{Ec.(22)}$$

En la que A es una constante (por ejemplo, A = 1); y

$\theta_i(k)$  es la fase para la subbanda k-ésima de la antena de transmisión i-ésima, que se da como:

$$\theta_i(k) = \angle \hat{v}_{ui,i}(k) = \tan^{-1} \left( \frac{\text{Im}\{\hat{v}_{ui,i}(k)\}}{\text{Re}\{\hat{v}_{ui,i}(k)\}} \right). \quad \text{Ec.(23)}$$

25 Como se muestra en la ecuación (23), la fase de cada elemento en el vector  $\tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k)$  se obtiene a partir del elemento correspondiente del vector propio  $\hat{\mathbf{v}}_{ut,1}(k)$  (es decir,  $\theta_i(k)$  se obtiene de  $\hat{v}_{ut,1,j}(k)$  en el que  $\hat{\mathbf{v}}_{ut,1}(k) = [\hat{v}_{ut,1,1}(k) \quad \hat{v}_{ut,1,2}(k) \dots \hat{v}_{ut,1,N_{ut}}(k)]^T$ )

#### A. Orientación de haz en enlace ascendente

30 El procesamiento espacial por el terminal de usuario para la orientación de haz sobre el enlace ascendente se puede expresar como:

$$\tilde{\mathbf{x}}_{up}(k) = \hat{\mathbf{K}}_{ut} \tilde{\mathbf{v}}_{ui}(k) s_{up}(k), \quad \text{para } k \in K, \quad \text{Ec.(24)}$$

En la que  $s_{up}(k)$  es el símbolo de modulación a transmitir en la subbanda k-ésima, y  $\tilde{\mathbf{x}}_{up}(k)$  es el vector de transmisión para la subbanda k-ésima para la orientación de haz.

35 Como se muestra en la ecuación (22), los  $N_{ut}$  elementos del vector de dirección normalizado  $\tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k)$  para cada subbanda tienen igual magnitud, pero posiblemente fases diferentes. Por lo tanto, la orientación de haz genera un vector de transmisión  $\tilde{\mathbf{x}}_{up}(k)$  para cada subbanda, teniendo los  $N_{ut}$  elementos de  $\tilde{\mathbf{x}}_{up}(k)$  la misma magnitud pero posiblemente diferentes fases.

La transmisión recibida en enlace ascendente en el punto de acceso para la orientación de haz se puede expresar como:

$$\begin{aligned} \tilde{\mathbf{r}}_{up}(k) &= \mathbf{H}_{up}(k) \tilde{\mathbf{x}}_{up}(k) + \mathbf{n}_{up}(k), \quad \text{para } k \in K, \quad \text{Ec.(25)} \\ &= \mathbf{H}_{up}(k) \hat{\mathbf{K}}_{ut}(k) \tilde{\mathbf{v}}_{ui}(k) s_{up}(k) + \mathbf{n}_{up}(k) \\ &= \mathbf{H}_{cup}(k) \tilde{\mathbf{v}}_{ui}(k) s_{up}(k) + \mathbf{n}_{up}(k) \end{aligned}$$

40

en la que  $\tilde{\mathbf{r}}_{up}(k)$  es el vector recibido sobre el enlace ascendente de la subbanda k-ésima para la orientación de haz.

Un vector de fila de filtro adaptado  $\tilde{\mathbf{m}}_{ap}(k)$  para la transmisión en enlace ascendente con orientación de haz se puede expresar como:

$$\tilde{\mathbf{m}}_{ap}(k) = (\mathbf{H}_{cup}(k)\tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k))^H, \text{ para } k \in K. \quad \text{Ec.(26)}$$

5 El vector de filtro adaptado  $\tilde{\mathbf{m}}_{ap}(k)$  se pueden obtener como se describe a continuación. El procesamiento espacial (o filtrado adaptado) en el punto de acceso para la transmisión en enlace ascendente recibida con la orientación de haz se puede expresar como:

$$\begin{aligned} \hat{s}_{up}(k) &= \tilde{\lambda}_{up}^{-1}(k)\tilde{\mathbf{m}}_{ap}(k)\tilde{\mathbf{r}}_{up}(k) \\ &= \tilde{\lambda}_{up}^{-1}(k)(\mathbf{H}_{cup}(k)\tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k))^H(\mathbf{H}_{cup}(k)\tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k)s_{up}(k) + \mathbf{n}_{up}(k)), \text{ para } k \in K, \text{ Ec. (27)} \\ &= s_{up}(k) + \tilde{n}_{up}(k) \end{aligned}$$

en la que  $\tilde{\lambda}_{up}(k) = (\mathbf{H}_{cup}(k)\tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k))^H(\mathbf{H}_{cup}(k)\tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k))$  (es decir,  $\tilde{\lambda}_{up}(k)$  es el producto interno de  $\tilde{\mathbf{m}}_{ap}(k)$  y su transpuesta conjugada),

10  $s_{up}(k)$  es una estimación del símbolo de modulación  $s_{up}(k)$  transmitido por el terminal de usuario sobre el enlace ascendente, y

$\tilde{n}_{up}(k)$  es el ruido post-procesado.

### B. Orientación de haz en enlace descendente

15 El procesamiento espacial por el punto de acceso para la orientación de haz sobre el enlace descendente se puede expresar como:

$$\tilde{\mathbf{x}}_{dn}(k) = \hat{\mathbf{K}}_{ap}\tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k)s_{dn}(k), \text{ para } k \in K, \quad \text{Ec.(28)}$$

en la que  $\tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k)$  es el vector propio normalizado para la subbanda k-ésima, que se genera en función del vector propio  $\mathbf{u}_{ap,1}^*(k)$  para el modo propio principal de banda ancha, como se ha descrito más arriba.

20 Un vector fila de filtro adaptado  $\tilde{\mathbf{m}}_{ut}(k)$  para la transmisión en enlace descendente con orientación de haz se puede expresar como:

$$\tilde{\mathbf{m}}_{ut}(k) = (\mathbf{H}_{cdn}(k)\tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k))^H, \text{ para } k \in K. \quad \text{Ec.(29)}$$

El procesamiento espacial (o filtrado adaptado) en el terminal de usuario para la transmisión en enlace descendente recibida puede ser expresada como:

$$\begin{aligned} \hat{s}_{dn}(k) &= \tilde{\lambda}_{dn}^{-1}(k)\tilde{\mathbf{m}}_{ut}(k)\tilde{\mathbf{r}}_{dn}(k) \\ &= \tilde{\lambda}_{dn}^{-1}(k)(\mathbf{H}_{cdn}(k)\tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k))^H(\mathbf{H}_{cdn}(k)\tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k)s_{dn}(k) + \mathbf{n}_{dn}(k)), \text{ para } k \in K, \text{ Ec.(30)} \\ &= s_{dn}(k) + \tilde{n}_{dn}(k) \end{aligned}$$

25 en la que  $\tilde{\lambda}_{dn}(k) = (\mathbf{H}_{cdn}(k)\tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k))^H(\mathbf{H}_{cdn}(k)\tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k))$  (es decir,  $\tilde{\lambda}_{dn}(k)$  es el producto interno de  $\tilde{\mathbf{m}}_{ut}(k)$  y su transpuesta conjugada).

La orientación de haz se puede ver como un caso especial de procesamiento espacial en el que sólo se utiliza un vector propio para un modo propio para la transmisión de datos y este vector propio está normalizado para tener magnitudes iguales.

30 La **figura 4** es un diagrama de bloques del procesamiento espacial para el enlace descendente y el enlace ascendente para el modo de orientación de haz, de acuerdo con una realización de la invención.

35 Para el enlace descendente, dentro de un procesador espacial TX 120y en el punto de acceso 110y, el símbolo de modulación  $s_{dn}(k)$ , para  $k \in K$ , se multiplica en primer lugar con el vector propio normalizado  $\tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k)$  por una unidad 410 y a continuación se multiplica adicionalmente con la matriz de corrección  $\hat{\mathbf{K}}_{ap}(k)$  por una unidad 412 para obtener el vector de transmisión  $\tilde{\mathbf{x}}_{dn}(k)$ . El vector  $\tilde{\mathbf{x}}_{dn}(k)$  para  $k \in K$  es procesado a continuación por una cadena de transmisión 414 dentro de modulador 122y y es transmitido sobre el canal MIMO al terminal de usuario 150y. La unidad 410 realiza el procesamiento espacial para la transmisión de datos en enlace descendente para el modo de orientación de haz.

En el terminal de usuario 150y, las señales en enlace descendente son procesadas por una cadena de recepción 454 dentro del demodulador 154y para obtener el vector de recepción  $\tilde{\mathbf{r}}_{dn}(k)$  para  $k \in K$ . Dentro de un procesador espacial RX 160y, una unidad 456 efectúa un producto interno del vector de recepción  $\tilde{\mathbf{r}}_{dn}(k)$ , para  $k \in K$ , con el vector de filtro adaptado  $\tilde{\mathbf{m}}_{ut}(k)$ . El resultado del producto interno se escala a continuación por  $\lambda_{dn}^{-1}(k)$  por una unidad 458 para obtener el símbolo  $\hat{s}_{dn}(k)$  que es una estimación del símbolo de modulación  $s_{dn}(k)$ . Las unidades 456 y 458 realizan el procesamiento espacial para el filtrado adaptado en enlace descendente para el modo de orientación de haz.

Para el enlace ascendente, dentro de un procesador espacial TX 190y en el terminal de usuario 150y, el símbolo de modulación  $s_{up}(k)$ , para  $k \in K$ , se multiplica en primer lugar con el vector propio normalizado  $\tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k)$  por una unidad 460 y a continuación se multiplica adicionalmente con la matriz de corrección  $\hat{\mathbf{K}}_{ut}(k)$  por una unidad 462 para obtener el vector de transmisión  $\hat{\mathbf{x}}_{up}(k)$ . El vector  $\hat{\mathbf{x}}_{up}(k)$  para  $k \in K$  es procesado a continuación por una cadena de transmisión 464 dentro del modulador 154y y es transmitido por el canal MIMO al punto de acceso 110y. La unidad 460 realiza el procesamiento espacial para la transmisión de datos en enlace ascendente para el modo de orientación de haz.

En los puntos de acceso 110y, las señales en enlace ascendente son procesadas por una cadena de recepción 424 dentro del demodulador 124y para obtener el vector de recepción  $\tilde{\mathbf{r}}_{up}(k)$ , para  $k \in K$ . Dentro de un procesador espacial RX 140y, una unidad 426 realiza un producto interno del vector de recepción  $\tilde{\mathbf{r}}_{up}(k)$ , para  $k \in K$  con el vector de filtro adaptado  $\tilde{\mathbf{m}}_{ap}(k)$ . El resultado del producto interno se escala a continuación, por  $\lambda_{up}^{-1}(k)$  por una unidad 428 para obtener el símbolo  $\hat{s}_{up}(k)$  que es una estimación del símbolo de modulación  $s_{up}(k)$ . Las unidades 426 y 428 realizan el procesamiento espacial para el filtrado adaptado en enlace ascendente para el modo de orientación de haz.

#### 4. Referencia orientada

Como se muestra en la ecuación (15), en el punto de acceso, el vector recibido en enlace ascendente  $\tilde{\mathbf{r}}_{up}(k)$ , para  $k \in K$  en ausencia de ruido es igual al vector de datos  $\hat{\mathbf{s}}_{up}(k)$  transformado por  $\hat{\mathbf{U}}_{ap}(k)\hat{\mathbf{\Sigma}}(k)$ , que es la matriz  $\hat{\mathbf{U}}_{ap}(k)$  de los vectores propios izquierdos de  $\hat{\mathbf{H}}_{cup}(k)$  escalado por la matriz diagonal  $\hat{\mathbf{\Sigma}}(k)$  de valores singulares. Como se muestra en las ecuaciones (17) y (18), debido al canal recíproco y la calibración, la matriz  $\hat{\mathbf{U}}_{ap}(k)$  y su transpuesta se utilizan para el procesamiento espacial de la transmisión en enlace descendente y el procesamiento espacial (filtrado adaptado) de la transmisión en enlace ascendente recibida, respectivamente.

Una referencia orientada (o piloto orientado) puede ser transmitida por el terminal de usuario y utilizada por el punto de acceso para obtener estimaciones tanto de  $\hat{\mathbf{U}}_{ap}(k)$  y  $\hat{\mathbf{\Sigma}}(k)$ , para  $k \in K$ , sin tener que estimar el canal MIMO o efectuar la descomposición en valores singulares. Del mismo modo, una referencia orientada puede ser transmitida por el punto de acceso y utilizada por el terminal de usuario para obtener las estimaciones de ambos  $\hat{\mathbf{V}}_{ut}(k)$  y  $\hat{\mathbf{\Sigma}}(k)$ .

Una referencia orientada comprende un símbolo OFDM específico (que se conoce como símbolo OFDM piloto o "P") que se transmite desde todas las antenas en el terminal de usuario (para el enlace ascendente) o de las  $N_{ap}$  antenas en el punto de acceso (para el enlace descendente). El símbolo P OFDM se transmite en un solo modo propio de banda ancha mediante la realización de un procesamiento espacial con el conjunto de vectores propios para ese modo propio de banda ancha.

#### A. Referencia orientada en enlace ascendente

Una referencia orientada en enlace ascendente transmitida por el terminal de usuario se puede expresar como:

$$\hat{\mathbf{x}}_{up,m}(k) = \hat{\mathbf{K}}_{ut}(k)\hat{\mathbf{v}}_{ut,m}(k)p(k) \quad , \text{ para } k \in K \quad , \quad \text{Ec.(31)}$$

En la que  $\hat{\mathbf{x}}_{up,m}(k)$  es el vector de transmisión para la subbanda k-ésima del modo propio m-ésimo de banda ancha;

$\hat{\mathbf{v}}_{ut,m}(k)$  es el vector propio para la subbanda k-ésima del modo propio m-ésimo de banda ancha; y

$p(k)$  es un símbolo de modulación piloto para ser transmitido en la subbanda k-ésima.

El vector propio  $\hat{\mathbf{v}}_{ut,m}(k)$  es la columna m-ésima de la matriz  $\hat{\mathbf{V}}_{ut}(k)$ , en la que  $\hat{\mathbf{v}}_{ut}(k)=[\hat{v}_{ut,1,1}(k) \hat{v}_{ut,2}(k) \dots \hat{v}_{ut,1,N_{ut}}(k)] \dots$

La referencia orientada en enlace ascendente recibida en el punto de acceso se puede expresar como:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{r}_{up,m}(k) &= \mathbf{H}_{up}(k)\mathbf{x}_{up,m}(k) + \mathbf{n}_{up}(k) \quad , \text{ para } k \in K . \quad \text{Ec.(32)} \\
 &= \mathbf{H}_{up}(k)\hat{\mathbf{K}}_{ut}(k)\hat{\mathbf{v}}_{ut,m}(k)p(k) + \mathbf{n}_{up}(k) \\
 &\approx \hat{\mathbf{H}}_{cup}(k)\hat{\mathbf{v}}_{ut,m}(k)p(k) + \mathbf{n}_{up}(k) \\
 &= \hat{\mathbf{U}}_{ap}(k)\hat{\Sigma}(k)\hat{\mathbf{V}}_{ut}^H(k)\hat{\mathbf{v}}_{ut,m}(k)p(k) + \mathbf{n}_{up}(k) \\
 &= \hat{\mathbf{u}}_{ap,m}(k)\sigma_m(k)p(k) + \mathbf{n}_{up}(k)
 \end{aligned}$$

en la que  $\mathbf{r}_{up,m}(k)$  es el vector recibido para la referencia orientada en enlace ascendente de la subbanda k-ésima del modo propio de banda ancha m-ésimo; y

$\sigma_m(k)$  es el valor singular para la subbanda k-ésima del modo propio de banda ancha m-ésimo.

- 5 Técnicas para estimar la respuesta de canal en base a la referencia orientada se describen con más detalle a continuación.

### B. Referencia orientada en enlace descendente

Una referencia orientada en enlace descendente transmitida por el punto de acceso se puede expresar como:

$$\mathbf{x}_{du,m}(k) = \hat{\mathbf{K}}_{up}(k)\hat{\mathbf{u}}_{up,m}^*(k)p(k) \quad , \text{ para } k \in K , \quad \text{Ec.(33)}$$

- 10 en la que  $\mathbf{x}_{du,m}(k)$  es el vector de transmisión para la subbanda k-ésima del modo propio de banda ancha m-ésimo; y

$\mathbf{U}_{ap,m}^*$  es el vector propio para la subbanda k-ésima del modo propio de banda ancha m-ésimo.

El vector de dirección  $\mathbf{u}_{ap,m}^*$  es la columna m-ésima de la matriz  $\mathbf{U}_{ap}^*$  en la que

$$\hat{\mathbf{U}}_{ap}^*(k) = [\hat{\mathbf{u}}_{ap,1}^*(k) \quad \hat{\mathbf{u}}_{ap,2}^*(k) \quad \dots \quad \hat{\mathbf{u}}_{ap,N_{ap}}^*(k)] .$$

- 15 La referencia orientada en enlace descendente puede ser utilizada por el terminal de usuario para diversos fines. Por ejemplo, la referencia orientada en enlace descendente permite que el terminal de usuario determine qué tipo de estimación del punto de acceso tiene para el canal MIMO (puesto que el punto de acceso tiene una estimación de una estimación del canal). La referencia orientada en enlace descendente también puede ser utilizada por el terminal de usuario para estimar la SNR recibida de la transmisión en enlace descendente.

### C. Referencia orientada para orientación de haz

- 20 Para el modo de orientación de haz, el procesamiento espacial en el lado de transmisión se realiza utilizando un conjunto de vectores propios normalizados para el modo propio de banda ancha principal. La función de transferencia global con un vector propio normalizado es distinta de la función de transferencia global con un vector propio no normalizado (es decir  $\mathbf{H}_{cup}(k)\hat{\mathbf{v}}_{ut,1}(k) \neq \mathbf{H}_{cup}(k)\mathbf{v}_{ut}(k)$ ). Una referencia orientada generada utilizando el conjunto de vectores propios normalizados para todas las subbandas puede ser enviada entonces por el transmisor y utilizada por el receptor para derivar los vectores de filtro adaptados para estas subbandas para el modo de orientación de haz.

Para el enlace ascendente, la referencia orientada para el modo de orientación de haz se puede expresar como:

$$\tilde{\mathbf{x}}_{up,sr}(k) = \hat{\mathbf{K}}_{ut}(k)\tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k)p(k) \quad , \text{ para } k \in K . \quad \text{Ec.(34)}$$

- 30 En el punto de acceso, la referencia orientada recibida en enlace ascendente para el modo de orientación de haz se puede expresar como:

$$\begin{aligned}
 \tilde{\mathbf{r}}_{up,sr}(k) &= \mathbf{H}_{up}(k)\tilde{\mathbf{x}}_{up,sr}(k) + \mathbf{n}_{up}(k) \quad , \text{ para } k \in K . \quad \text{Ec.(35)} \\
 &= \mathbf{H}_{up}(k)\hat{\mathbf{K}}_{ut}(k)\tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k)p(k) + \mathbf{n}_{up}(k) \\
 &= \mathbf{H}_{cup}(k)\tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k)p(k) + \mathbf{n}_{up}(k)
 \end{aligned}$$

Para obtener el vector fila filtro adaptado  $\tilde{\mathbf{m}}_{ap}(k)$  para la transmisión en enlace ascendente con orientación de haz, el vector recibido  $\tilde{\mathbf{r}}_{up, sr}(k)$  para la referencia orientada se multiplica en primer lugar por  $p^*(k)$ . El resultado se integra a continuación sobre múltiples símbolos referencia orientada recibidos para formar una estimación de  $\mathbf{H}_{cup}(k)\tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k)$ . El vector  $\tilde{\mathbf{m}}_{ap}(k)$  es entonces el traspuesto conjugado de esta estimación.

- 5 Aunque opera en el modo de orientación de haz, el terminal de usuario puede transmitir múltiples símbolos de referencia orientada, por ejemplo, uno o más símbolos utilizando el vector propio normalizado  $\tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k)$ , uno o más símbolos utilizando el vector propio  $\hat{\mathbf{v}}_{ut,1}(k)$  para el modo propio principal, y posiblemente uno o más símbolos utilizando los vectores propios para los otros modos propios. Los símbolos de referencia orientada generados con  $\tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k)$  pueden ser utilizados por el punto de acceso para derivar el vector de filtro adaptado  $\tilde{\mathbf{m}}_{ap}(k)$ . Los símbolos de referencia orientada generados con  $\hat{\mathbf{v}}_{ut,1}(k)$  pueden ser utilizados para obtener  $\hat{\mathbf{u}}_{ap,1}(k)$  que a continuación se puede utilizar para derivar el vector propio normalizado  $\tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k)$  usado para la orientación de haz sobre el enlace descendente. Los símbolos de referencia orientada generados con los vectores propios  $\hat{\mathbf{v}}_{ut,2}(k)$  a  $\hat{\mathbf{v}}_{ut,N_s}(k)$  para los otros modos propios pueden ser utilizados por el punto de acceso para obtener  $\hat{\mathbf{u}}_{ap,2}(k)$  a  $\hat{\mathbf{u}}_{ap,N_s}(k)$  y los valores singulares para estos otros modos propios. Esta información puede ser utilizada entonces por el punto de acceso para determinar si se debe utilizar el modo de multiplexado espacial o el modo de orientación de haz para la transmisión de datos.

Para el enlace descendente, el terminal de usuario puede derivar el vector de filtro adaptado  $\tilde{\mathbf{m}}_{ut}(k)$  para el modo de orientación de haz sobre la base de la estimación de respuesta de canal en enlace descendente calibrado  $\mathbf{H}_{cdn}^{\Delta}(k)$ . En particular, el terminal de usuario tiene  $\hat{\mathbf{u}}_{ap,1}(k)$  de la descomposición en valores singulares de  $\mathbf{H}_{cdn}^{\Delta}(k)$  y puede derivar el vector propio normalizado  $\tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k)$ . El terminal de usuario puede multiplicar entonces  $\tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k)$  por  $\mathbf{H}_{cdn}^{\Delta}(k)$  para obtener  $\mathbf{H}_{cdn}^{\Delta}(k)\tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k)$ , y puede entonces derivar  $\tilde{\mathbf{m}}_{ut}(k)$  en base a  $\mathbf{H}_{cdn}^{\Delta}(k)\tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k)$ . Alternativamente, una referencia orientada puede ser enviada por el punto de acceso utilizando el vector propio normalizado  $\tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k)$ , y esta referencia orientada puede ser procesada por el terminal de usuario de la manera descrita más arriba para obtener  $\tilde{\mathbf{m}}_{ut}(k)$ .

#### D. Estimación de canal basado en referencia orientada

Como se muestra en la ecuación (32), en el punto de acceso, la referencia recibida en enlace ascendente (en ausencia de ruido) es aproximadamente  $\hat{\mathbf{u}}_{ap,m}(k)\sigma_m(k)p(k)$ . El punto de acceso puede obtener así una estimación de la respuesta de canal en enlace ascendente en base a la referencia orientada enviada por el terminal de usuario. Diversas técnicas de estimación pueden ser utilizadas para obtener la estimación de respuesta de canal.

En una realización, para obtener una estimación de  $\hat{\mathbf{u}}_{ap,m}(k)$ , el vector recibido  $\tilde{\mathbf{r}}_{up,m}(k)$  para la referencia orientada para el modo propio de banda ancha  $m$ -ésimo se multiplica en primer lugar por el conjugado complejo del símbolo de modulación piloto,  $p^*(k)$ , que se utiliza para la referencia orientada. El resultado se integra a continuación sobre múltiples símbolos recibidos de referencia orientada para cada modo propio de banda ancha para obtener una estimación de  $\hat{\mathbf{u}}_{ap,m}(k)\sigma_m(k)$ , que es un vector propio izquierdo escalado  $\mathbf{H}_{cup}^{\Delta}(k)$  para el modo propio de banda ancha  $m$ -ésimo. Cada una de las  $N_{ap}$  entradas de  $\hat{\mathbf{u}}_{ap,m}(k)$  se obtiene sobre la base de una correspondiente de las  $N_{ap}$  entradas para  $\tilde{\mathbf{r}}_{up,m}(k)$ , en la que las  $N_{ap}$  entradas de  $\tilde{\mathbf{r}}_{up,m}(k)$  son los símbolos recibidos obtenidos de las  $N_{ap}$  antenas en el punto de acceso. Puesto que los vectores propios tienen una potencia unitaria, el valor singular  $\sigma_m(k)$  se puede estimar en base a la potencia recibida de la referencia orientada, que se puede medir para cada subbanda de cada modo propio de banda ancha.

En otra realización, se usa una técnica de error cuadrático medio mínimo (MMSE) para obtener una estimación de  $\hat{\mathbf{u}}_{ap,m}(k)$  en base al vector recibido  $\tilde{\mathbf{r}}_{up,m}(k)$  para la referencia orientada. Puesto que los símbolos de modulación piloto  $p(k)$  son conocidos, el punto de acceso puede derivar la estimación de  $\hat{\mathbf{u}}_{ap,m}(k)$  de tal manera que el error cuadrático medio entre los símbolos piloto recibidos (obtenidos después de realizar el filtrado adaptado en el vector recibido  $\tilde{\mathbf{r}}_{up,m}(k)$ ) y los símbolos piloto transmitidos se reduce al mínimo. El uso de la técnica MMSE para el procesamiento espacial en el receptor se describe en detalle en la solicitud de patente norteamericana transferida legalmente número de serie 09/993,087, titulada "Sistema de Comunicación de Entradas Múltiples, Salidas Múltiples y Acceso Múltiples (MIMO)", presentada el 6 de noviembre de 2001, publicación número US 2003/0125040 A1.

La referencia orientada se envía para un modo propio de banda ancha en cualquier periodo de símbolo dado, y puede ser utilizada a su vez para obtener una estimación de un vector propio para cada subbanda de ese modo propio de banda ancha. Por lo tanto, el receptor puede obtener una estimación de un vector propio en una matriz unitaria para cualquier periodo de símbolo dado. Puesto que las estimaciones de múltiples vectores propios para la matriz unitaria se obtienen sobre distintos periodos de símbolos, y debido al ruido y otras fuentes de degradación en la trayectoria de transmisión, no es probable que los vectores propios estimados para la matriz unitaria sean ortogonales. Si los vectores propios estimados se utilizan posteriormente para el procesamiento espacial de transmisión de datos en el otro enlace, entonces cualesquiera errores en la ortogonalidad de estos vectores propios estimados darían lugar a la diafonía entre los modos propios, lo que puede disminuir el rendimiento.

55 En una realización, los vectores propios estimados para cada matriz unitaria están forzados a ser ortogonales unos con los otros. La ortogonalización de los vectores propios se puede lograr utilizando la técnica de Gram - Schmidt, que se describe en detalle en la referencia que se ha mencionado más arriba de Gilbert Strang, o alguna otra técnica.

También se pueden utilizar otras técnicas para estimar la respuesta de canal en base a la referencia orientada, y esto se encuentra dentro del alcance de la presente invención.

5 El punto de acceso puede estimar así tanto  $\hat{\mathbf{U}}_{ap}(k)$  y  $\hat{\Sigma}(k)$  en base a la referencia orientada enviada por el terminal de usuario, sin tener que estimar la respuesta de canal en enlace ascendente o efectuar la descomposición en valores singulares en  $\mathbf{H}_{cup}^{\Delta}(k)$ . Puesto que sólo  $N_{ut}$  modos propios de banda ancha tienen alguna potencia, la matriz  $\mathbf{U}_{ap}^{\Delta}(k)$  de vectores propios izquierdos de  $\mathbf{H}_{cup}^{\Delta}(k)$  es efectivamente  $(N_{ap} \times N_{ut})$ , y se puede considerar que la matriz  $\hat{\Sigma}(k)$  es  $(N_{ut} \times N_{ut})$ .

10 El procesamiento en el terminal de usuario para estimar las matrices  $\mathbf{V}_{ut}(k)$  y  $\hat{\Sigma}(k)$ , para  $k \in K$  en base a la referencia orientada en enlace descendente se puede realizar de manera similar a la descrita más arriba para la referencia orientada en enlace ascendente.

### 5. Estimación de canal y procesamiento espacial

La figura 5 es un diagrama de flujo de una realización específica de un proceso 500 para efectuar la estimación de canal y el procesamiento espacial en el punto de acceso y en el terminal de usuario, de acuerdo con una realización de la invención. El proceso 500 incluye dos partes - calibración (bloque 510) y operación normal (bloque 520).

15 Inicialmente, el punto de acceso y el terminal de usuario realizan la calibración para determinar las diferencias en las respuestas de sus cadenas de transmisión y de recepción y obtener matrices de corrección  $\mathbf{K}_{ap}(k)$  y  $\mathbf{K}_{ut}(k)$ , para  $k \in K$  (en el bloque 512). La calibración sólo necesita ser realizada una vez (por ejemplo, en el inicio de una sesión de comunicación, o la primera vez que el terminal de usuario es conectado). Las matrices de corrección  $\mathbf{K}_{ap}(k)$  y  $\mathbf{K}_{ut}(k)$  son utilizadas a partir de entonces por el punto de acceso y por el terminal de usuario, respectivamente, en el lado de transmisión como se ha descrito más arriba.

20 Durante la operación normal, el punto de acceso transmite un piloto MIMO sobre el canal en enlace descendente calibrado (en el bloque 522). El terminal de usuario recibe y procesa el piloto MIMO, estima la respuesta de canal en enlace descendente calibrado basada en el piloto MIMO recibido, y mantiene una estimación de la respuesta de canal en enlace descendente calibrado (en el bloque 524). Se puede mostrar que el rendimiento es mejor (es decir, menos degradación) cuando la estimación de respuesta de canal es precisa. Una estimación de respuesta de canal precisa se puede obtener haciendo un promedio de las estimaciones derivadas de múltiples transmisiones piloto MIMO recibidas.

30 El terminal de usuario a continuación descompone la estimación de respuesta de canal en enlace descendente calibrado,  $\mathbf{H}_{cdn}^{\Delta}(k)$ , para  $k \in K$ , para obtener la matriz diagonal  $\hat{\Sigma}(k)$  y la matriz unitaria  $\mathbf{V}_{ut}^{\Delta}(k)$  (en el bloque 526). La matriz  $\mathbf{V}_{ut}^{\Delta}(k)$  contiene los vectores propios izquierdos de  $\mathbf{H}_{cdn}^{\Delta}(k)$  y  $\mathbf{V}_{ut}^{\Delta}(k)$  contiene los vectores propios derechos de  $\mathbf{H}_{cup}^{\Delta}(k)$ . La matriz  $\mathbf{V}_{ut}^{\Delta}(k)$  por lo tanto puede ser utilizada por el terminal de usuario para efectuar el procesamiento espacial para la transmisión de datos recibido sobre el enlace descendente, así como para la transmisión de datos a enviar sobre el enlace ascendente.

35 El terminal de usuario transmite entonces una referencia orientada sobre el enlace ascendente al punto de acceso utilizando los vectores propios de la matriz  $\mathbf{V}_{ut}^{\Delta}(k)$ , como se muestra en la ecuación (31) (en el bloque 530). El punto de acceso recibe y procesa la referencia orientada en enlace ascendente para obtener la matriz diagonal  $\hat{\Sigma}(k)$  y la matriz unitaria  $\hat{\mathbf{U}}_{ap}(k)$ , para  $k \in K$  (en el bloque 532). La matriz  $\hat{\mathbf{U}}_{ap}(k)$  contiene los vectores propios izquierdos de  $\mathbf{H}_{cup}^{\Delta}(k)$  y  $\mathbf{U}_{ap}^{\Delta}(k)$  contiene los vectores propios derechos de  $\mathbf{H}_{cdn}^{\Delta}(k)$ . La matriz  $\hat{\mathbf{U}}_{ap}(k)$  por lo tanto puede ser utilizada por el punto de acceso para efectuar el procesamiento espacial para la transmisión de datos recibidos sobre el enlace ascendente, así como para la transmisión de datos a enviar sobre el enlace descendente.

40 La matriz  $\hat{\mathbf{U}}_{ap}(k)$ , para  $k \in K$ , se obtiene en base a una estimación de la referencia orientada en enlace ascendente, que a su vez se genera con el vector propio que se obtiene en base a una estimación de la respuesta de canal en enlace descendente calibrado. Por lo tanto, la matriz  $\hat{\mathbf{U}}_{ap}(k)$  es efectivamente una estimación de una estimación. El punto de acceso puede promediar las transmisiones de referencia orientada en enlace ascendente para obtener una estimación más precisa de la matriz real  $\mathbf{U}_{ap}(k)$ .

45 Una vez que el terminal de usuario y el punto de acceso obtienen las matrices  $\mathbf{V}_{ut}^{\Delta}(k)$  y  $\hat{\mathbf{U}}_{ap}(k)$ , respectivamente, la transmisión de datos puede comenzar sobre el enlace descendente y / o sobre el enlace ascendente. Para la transmisión de datos sobre el enlace descendente, el punto de acceso realiza el procesamiento espacial en símbolos con la matriz de vectores propios derechos de  $\mathbf{H}_{cdn}^{\Delta}(k)$  y transmite al terminal de usuario (en el bloque 540). El terminal de usuario podría entonces recibir y procesar espacialmente la transmisión de datos en enlace descendente con la matriz  $\mathbf{V}_{ut}^{\Delta}(k)$  que es la transpuesta conjugada de la matriz  $\mathbf{V}_{ut}^{\Delta}(k)$  de vectores propios izquierdos de  $\mathbf{H}_{cdn}^{\Delta}(k)$  (en el bloque 542). Para la transmisión de datos en enlace ascendente, el terminal de usuario realiza el procesamiento espacial en los símbolos con la matriz  $\mathbf{V}_{ut}^{\Delta}(k)$  de vectores propios derechos de  $\mathbf{H}_{cdn}^{\Delta}(k)$  y transmite al punto de acceso (en el bloque 550). El punto de acceso recibiría entonces y procesaría espacialmente la transmisión de datos en enlace ascendente con la matriz  $\mathbf{U}_{ap}^{\Delta}(k)$  que es la transpuesta conjugada de la matriz  $\hat{\mathbf{U}}_{ap}(k)$ , de los vectores propios izquierdos  $\mathbf{H}_{cup}^{\Delta}(k)$  (en el bloque 552).

- 5 La transmisión de datos en enlace descendente y / o en enlace ascendente puede continuar hasta que sea finalizada ya sea por el punto de acceso o por el terminal de usuario. Aunque el terminal de usuario esté inactivo (es decir, sin datos para transmitir o recibir), el piloto MIMO y / o la referencia orientada aún se pueden enviar para permitir que el punto de acceso y el terminal de usuario mantengan las estimaciones actualizadas en enlace descendente y las respuestas de canal en enlace ascendente, respectivamente. Esto permitiría entonces que la transmisión de datos comenzase rápidamente, si y cuando se reanude.
- 10 Para mayor claridad, la estimación de canal y las técnicas de procesamiento espacial se han descrito para una realización específica en la que el terminal de usuario estima la respuesta de canal en enlace descendente calibrado sobre la base de un piloto MIMO en enlace descendente y realiza la descomposición en valores singulares. La estimación de canal y la descomposición en valores singulares también pueden ser realizadas por el punto de acceso, y esto se encuentra dentro del alcance de la presente invención. En general, debido a la reciprocidad de canal para un sistema TDD, la estimación de canal sólo necesita ser realizada en un extremo del enlace.
- 15 Las técnicas descritas en la presente memoria descriptiva pueden ser utilizadas con o sin calibración. La calibración se puede realizar para mejorar las estimaciones de canal, que pueden entonces mejorar el rendimiento del sistema.
- 20 Las técnicas descritas en la presente memoria descriptiva también pueden ser utilizadas en conjunto con otras técnicas de procesamiento espacial, tales como llenado de agua para transmitir la asignación de potencia entre los modos propios de banda ancha e inversión de canal para transmitir la asignación de potencia entre las subbandas de cada modo propio de banda ancha. La inversión de canal y el llenado de agua se describen en la solicitud de patente norteamericana número de serie 60/421.309 que se ha mencionado anteriormente.
- 25 La estimación de canal y las técnicas de procesamiento espacial descritas en la presente memoria descriptiva se pueden implementar por diversos medios. Por ejemplo, estas técnicas se pueden implementar en hardware, software, o una combinación de los mismos. Para una implementación en hardware, los elementos utilizados para implementar las técnicas descritas en la presente memoria descriptiva pueden ser implementados dentro de uno o más circuitos integrados de aplicación específica (ASIC), procesadores de señales digitales (DSP), dispositivos de procesamiento de señales digitales (DSPD), dispositivos lógicos programables (PLD), matrices de puertas programables de campo (FPGA), procesadores, controladores, microcontroladores, microprocesadores, otras unidades electrónicas diseñadas para realizar las funciones descritas en la presente memoria descriptiva, o una combinación de los mismos.
- 30 Para una implementación en software, la estimación de canal y las técnicas de procesamiento espacial se pueden implementar con módulos (por ejemplo, procedimientos, funciones, y otros similares) que realizan las funciones descritas en la presente memoria descriptiva. Los códigos de software se pueden almacenar en una unidad de memoria (por ejemplo, unidades de memoria 132 y 182 en la figura 1) y ser ejecutados por un procesador (por ejemplo, los controladores 130 y 180). La unidad de memoria se puede implementar dentro del procesador o ser externa al procesador, en cuyo caso puede ser acoplada en comunicación con el procesador a través de diversos medios como se conoce en la técnica.
- 35 Los encabezamientos se incluyen en la presente memoria descriptiva como referencia y para ayudar en la localización de ciertas secciones. Estos encabezamientos no están destinados a limitar el alcance de los conceptos descritos bajo los mismos, y estos conceptos pueden tener aplicabilidad en otras secciones en toda la memoria descriptiva.
- 40 Se proporciona la descripción anterior de las realizaciones desveladas para permitir que cualquier persona experta en la técnica haga o utilice la presente invención. Diversas modificaciones de estas realizaciones serán fácilmente evidentes a los expertos en la técnica, y los principios genéricos aquí definidos se pueden aplicar a otras realizaciones sin apartarse del alcance de la invención. Por lo tanto, no se pretende limitar la presente invención a las realizaciones mostradas en la presente memoria descriptiva, sino que se le debe conceder el más amplio alcance coherente con las reivindicaciones adjuntas.
- 45

**REIVINDICACIONES**

1. Un procedimiento de efectuar el procesamiento espacial en un sistema de comunicación de entradas múltiples y salidas múltiples (MIMO) diplexado por división de tiempo (TDD), que comprende:
  - 5 procesar (524) una primera transmisión recibida a través de un primer enlace para obtener al menos un vector propio utilizable para el procesamiento espacial para la transmisión de datos recibido a través del primer enlace así como para la transmisión de datos enviados a través de un segundo enlace; y
  - realizar (530) el procesamiento espacial para una segunda transmisión sobre símbolos de referencia con el al menos un vector propio para generar, antes de la transmisión, una referencia orientada para la transmisión sobre el segundo enlace.
- 10 2. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende, además:
  - realizar (540) el procesamiento espacial sobre una tercera transmisión recibida a través del primer enlace con el al menos un vector propio.
3. El procedimiento de la reivindicación 1 o de la reivindicación 2, en el que la primera transmisión es un piloto orientado recibido sobre al menos un modo propio de un canal MIMO para el primer enlace.
- 15 4. El procedimiento de la reivindicación 1 o de la reivindicación 2, en el que la primera transmisión es un piloto MIMO compuesto por una pluralidad de transmisiones piloto enviadas desde una pluralidad de antenas de transmisión, y en el que la transmisión piloto desde cada antena de transmisión es identificable por un receptor del piloto MIMO .
5. El procedimiento de la reivindicación 4, en el que el procesamiento de una primera transmisión incluye:
  - 20 obtener (524) una estimación de respuesta de canal para el primer enlace basado en el piloto MIMO, y
  - descomponer (526) la estimación de respuesta de canal para obtener una pluralidad de vectores propios utilizables para el procesamiento espacial para los enlaces primero y segundo.
6. El procedimiento de la reivindicación 5, en el que la estimación de respuesta de canal para el primer enlace se descompone utilizando una descomposición en valores singulares.
- 25 7. El procedimiento de la reivindicación 4, que comprende, además:
  - realizar el procesamiento espacial sobre el piloto MIMO con el al menos un vector propio para generar (530) un piloto orientado para la transmisión sobre al menos un modo propio de un canal MIMO para el segundo enlace.
8. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la segunda transmisión es procesada espacialmente (532) con un vector propio para la transmisión sobre un modo propio de un canal MIMO para el segundo enlace.
- 30 9. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la segunda transmisión es procesada espacialmente con un vector propio normalizado para la transmisión sobre un modo propio de un canal MIMO para el segundo enlace, incluyendo el vector propio normalizado una pluralidad de elementos que tienen la misma magnitud.
10. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la primera transmisión es un piloto orientado generado con un vector propio normalizado para un modo propio de un canal MIMO para el primer enlace, incluyendo el vector propio normalizado una pluralidad de elementos que tienen la misma magnitud, y en el que se obtiene un vector propio utilizable para el procesamiento espacial para los enlaces primero y segundo.
- 35 11. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende además:
  - 40 calibrar (512) los enlaces primero y segundo de tal manera que una estimación de respuesta de canal para el primer enlace es la recíproca de una estimación de respuesta de canal para el segundo enlace al determinar y tener en cuenta las diferencias en las respuestas de las cadenas de transmisión y de recepción en las estimaciones de respuesta de canal.
12. El procedimiento de la reivindicación 11, en el que la calibración (512) incluye
  - 45 obtener factores de corrección para el primer enlace en base a las estimaciones de respuesta de canal para los enlaces primero y segundo, y
  - obtener factores de corrección para el segundo enlace en base a las estimaciones de respuesta de canal para los enlaces primero y segundo.

13. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el sistema de comunicación MIMO TDD utiliza una multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM), y en el que el procesamiento para la primera transmisión y el procesamiento espacial para la segunda transmisión son efectuadas para cada una de una pluralidad de subbandas.
- 5 14. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que  
la primera transmisión es un piloto MIMO, en el que el piloto MIMO comprende una pluralidad de transmisiones piloto enviadas desde una pluralidad de antenas de transmisión, y en el que la transmisión piloto desde cada antena de transmisión es identificable por un receptor del piloto MIMO, y el procedimiento comprende, además:  
10 realizar el procesamiento espacial sobre una primera transmisión de datos recibida a través del primer enlace con una pluralidad de vectores propios para recuperar símbolos de datos para la primera transmisión de datos.
15. El procedimiento de la reivindicación 14, que comprende, además:  
15 realizar el procesamiento espacial sobre el piloto MIMO con al menos uno de los vectores propios para generar un piloto orientado para la transmisión sobre al menos un modo propio de un canal MIMO para el segundo enlace.
16. El procedimiento de la reivindicación 14, que comprende, además:  
20 realizar la calibración para obtener los factores de corrección; y  
escalar la segunda transmisión con los factores de corrección antes de la transmisión sobre la segunda conexión, determinando y teniendo en cuenta las diferencias en las respuestas de las cadenas de transmisor y de receptor en las estimaciones de respuesta de canal.
17. El procedimiento de la reivindicación 14, en el que el sistema de comunicación MIMO TDD utiliza una multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM), y en el que el procesamiento espacial es realizado para cada una de una pluralidad de subbandas.
18. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que  
25 la primera transmisión es un piloto orientado;  
el primer enlace es al menos un modo propio de un canal MIMO; comprendiendo además el procedimiento  
realizar el procesamiento espacial sobre una primera transmisión de datos recibida a través del primer enlace con el al menos un vector propio.
19. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que:  
30 el procesamiento de la primera transmisión comprende realizar el procesamiento espacial sobre los símbolos piloto con un vector propio normalizado para un modo propio de un canal MIMO para generar un primer piloto orientado para la transmisión a través de un modo propio del canal MIMO para el segundo enlace, incluyendo el vector propio normalizado una pluralidad de elementos que tienen la misma magnitud; y  
35 la realización del procesamiento espacial para la segunda transmisión comprende realizar el procesamiento espacial sobre los símbolos de datos con el vector propio normalizado antes de la transmisión sobre el un modo propio del canal MIMO para el segundo enlace.
20. El procedimiento de la reivindicación 19, que comprende, además:  
40 realizar el procesamiento espacial sobre los símbolos piloto con un vector propio no normalizado para el un modo propio para generar un segundo piloto orientado para la transmisión a través de un modo propio del canal MIMO.
21. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el sistema de comunicación inalámbrico de entradas múltiples y salidas múltiples (MIMO) diplexado por división de tiempo- (TDD) es un sistema de comunicación de multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM), en el que el al menos un vector propio es una matriz de vectores propios para cada una de una pluralidad de subbandas, en el que se obtiene una pluralidad de matrices de vectores propios para la pluralidad de subbandas y son utilizables para el procesamiento espacial tanto para la transmisión de datos recibidos a través del primer enlace como para la transmisión de datos enviada a través del segundo enlace; y  
45 realizar el procesamiento espacial para la segunda transmisión con la pluralidad de matrices de vectores propios antes de la transmisión sobre el segundo enlace.

22. El procedimiento de la reivindicación 21, que comprende además:  
ordenar los vectores propios en cada matriz en base a las ganancias de canal asociadas con los vectores propios.
- 5 23. El procedimiento de la reivindicación 22, en el que la segunda transmisión es enviada sobre al menos un modo propio de banda ancha, estando asociado cada modo propio de banda ancha con un conjunto de vectores propios en la pluralidad de matrices que tienen el mismo orden después de la ordenación.
24. Un aparato en un sistema de comunicación inalámbrico de entradas múltiples y salidas múltiples (MIMO) diplexado por división de tiempo (TDD), que comprende:  
10 un medio para procesar (524) una primera transmisión recibida a través de un primer enlace para obtener al menos un vector propio utilizable para el procesamiento espacial para la transmisión de datos recibidos a través del primer enlace así como para la transmisión de datos enviados a través de un segundo enlace; y  
un medio para realizar (530) el procesamiento espacial para una segunda transmisión sobre símbolos de referencia con el al menos un vector propio para generar, antes de la transmisión, una referencia orientada para la transmisión sobre el segundo enlace.
- 15 25. El aparato de la reivindicación 24, que comprende, además:  
un medio para realizar el procesamiento espacial (540) sobre una tercera transmisión recibida a través del primer enlace con el al menos un vector propio para recuperar símbolos de datos para la tercera transmisión.
- 20 26. El aparato de la reivindicación 24, en el que la primera transmisión es un piloto orientado recibido sobre al menos un modo propio de un canal MIMO para el primer enlace.
27. El aparato de la reivindicación 24, en el que la primera transmisión es un piloto MIMO constituido por una pluralidad de transmisiones piloto enviadas desde una pluralidad de antenas de transmisión, y en el que la transmisión piloto desde cada antena de transmisión es identificable por un receptor del piloto MIMO.
28. El aparato de la reivindicación 27, que comprende, además:  
25 un medio para obtener (524) una estimación de respuesta de canal para el primer enlace en base al piloto MIMO; y  
un medio para descomponer (526) la estimación de respuesta de canal para obtener al menos un vector propio utilizable para el procesamiento espacial para los enlaces primero y segundo.
- 30 29. El aparato de la reivindicación 24, en el que la primera transmisión es un piloto MIMO, en el que el piloto MIMO comprende una pluralidad de transmisiones piloto enviadas desde una pluralidad de antenas de transmisión, y en el que la transmisión piloto desde cada antena de transmisión es identificable por un receptor del piloto MIMO, y comprendiendo el aparato, además  
35 un medio para realizar el procesamiento espacial sobre una primera transmisión de datos recibida a través del primer enlace con el al menos un vector propio para recuperar símbolos de datos para la primera transmisión de datos.
30. El aparato de la reivindicación 29, que comprende, además:  
un medio para realizar un procesamiento espacial sobre los símbolos piloto con el al menos un vector propio para generar un piloto orientado para la transmisión sobre al menos un modo propio de un canal MIMO para el segundo enlace.
- 40 31. El aparato de la reivindicación 29, que comprende, además:  
un medio para realizar (512) la calibración para obtener los factores de corrección, y  
un medio para escalar la segunda transmisión con los factores de corrección antes de la transmisión sobre el segundo enlace al determinar y tener en cuenta las diferencias en las respuestas de las cadenas de transmisor y de receptor en las estimaciones de respuesta de canal.
- 45 32. El aparato de la reivindicación 24, en el que la primera transmisión es un piloto orientado; y  
el primer enlace es al menos un modo propio de un canal MIMO, y comprendiendo el aparato, además:  
un medio para realizar el procesamiento espacial sobre una primera transmisión de datos recibida a través del primer enlace con el al menos un vector propio.

33. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el procesamiento de la primera transmisión de información recibida a través de un primer enlace para obtener al menos un vector propio utilizable para el procesamiento espacial, tanto para la transmisión de datos recibida a través del primer enlace como para la transmisión de datos enviada a través de un segundo enlace comprende:
- 5 procesar una transmisión piloto recibida a través del primer enlace para obtener una estimación de respuesta de canal para el primer enlace; y
- descomponer la estimación de respuesta de canal para obtener una matriz de vectores propios utilizables para el procesamiento espacial de la transmisión de datos recibida a través del primer enlace así como para la transmisión de datos enviada a través del segundo enlace.
- 10 34. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el procesamiento de la primera transmisión recibida a través de un primer enlace para obtener al menos un vector propio utilizable para el procesamiento espacial de la transmisión de datos recibida a través del primer enlace así como para la transmisión de datos enviada a través de un segundo enlace comprende:
- recibir un piloto orientado sobre al menos un modo propio de un canal MIMO para el primer enlace; y
- 15 procesar el piloto orientado recibido para obtener al menos un vector propio utilizable para el procesamiento espacial de la transmisión de datos recibida a través del primer enlace así como para la transmisión de datos enviada a través del segundo enlace.
35. El procedimiento de la reivindicación 34, en el que el procesamiento incluye
- 20 demodular el piloto orientado recibido para eliminar la modulación debida a los símbolos piloto usados para generar el piloto orientado, y
- procesar el piloto orientado demodulado para obtener el al menos un vector propio.
36. El procedimiento de la reivindicación 34, en el que se obtiene el al menos un vector propio en base a la técnica del error cuadrático medio mínimo (MMSE).
- 25 37. El procedimiento de la reivindicación 34, en el que se obtiene una pluralidad de vectores propios y se fuerzan para que sean ortogonales unos con los otros.
38. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende:
- 30 calibrar uno o más enlaces de comunicación, incluyendo el primer enlace y el segundo enlace entre un punto de acceso y un terminal de usuario para formar un primer enlace calibrado y un segundo enlace calibrado al determinar y tener en cuenta las diferencias en las respuestas de las cadenas de transmisor y receptor en las estimaciones de respuesta de canal;
- obtener una estimación de respuesta de canal para el primer enlace calibrado en base a uno o más pilotos transmitidos sobre el primer enlace calibrado, y
- descomponer la estimación de respuesta de canal para obtener uno o más vectores propios utilizables para el procesamiento espacial de los uno o más enlaces de comunicación.
- 35 39. El procedimiento de la reivindicación 38 en el que calibrar comprende:
- determinar uno o más conjuntos de factores de corrección en base a las estimaciones de respuestas de canal para el uno o más enlaces de comunicación; y
- aplicar los uno o más conjuntos de factores de corrección para los enlaces primero y segundo para formar los enlaces calibrados primero y segundo.
- 40 40. El procedimiento de la reivindicación 38, que comprende, además:
- realizar el procesamiento espacial para transmisiones de datos sobre los enlaces primero y segundo usando los uno o más vectores propios obtenidos descomponiendo la estimación de respuesta de canal para el primer enlace calibrado.
41. El procedimiento de la reivindicación 40, que comprende, además:
- 45 realizar el procesamiento espacial sobre uno o más símbolos piloto con los uno o más vectores propios para generar la referencia orientada.
42. El aparato de la reivindicación 24, que comprende, además:

- un medio para calibrar uno o más enlaces de comunicación, incluyendo el primer enlace y el segundo enlace entre un punto de acceso y un terminal de usuario para formar un primer enlace calibrado y un segundo enlace calibrado determinando y teniendo en cuenta las diferencias en las respuestas de las cadenas de transmisor y de receptor en las estimaciones de respuesta de canal; y
- 5 en el que el medio para procesar una primera transmisión comprende un medio para obtener una estimación de respuesta de canal para el primer enlace calibrado en base a uno o más pilotos transmitidos sobre el primer enlace y un medio calibrado para descomponer la estimación de respuesta de canal para obtener uno o más vectores propios utilizables para el procesamiento espacial de los uno o más enlaces de comunicación.
- 10 43. El aparato de la reivindicación 42 en el que la calibración comprende:
- un medio para determinar uno o más conjuntos de factores de corrección en base a las estimaciones de respuestas de canal para el uno o más enlaces de comunicación; y
- un medio para aplicar el uno o más conjuntos de factores de corrección a los enlaces primero y segundo para formar los enlaces primero y segundo calibrados.
- 15 44. El aparato de la reivindicación 42, que comprende, además:
- realizar el procesamiento espacial para transmisiones de datos en los enlaces primero y segundo usando los uno o más vectores propios obtenidos por la descomposición de la estimación de respuesta de canal para el primer enlace calibrado.
45. El aparato de la reivindicación 44, que comprende además:
- 20 realizar el procesamiento espacial en uno o más símbolos piloto con los uno o más vectores propios para generar la referencia orientada.

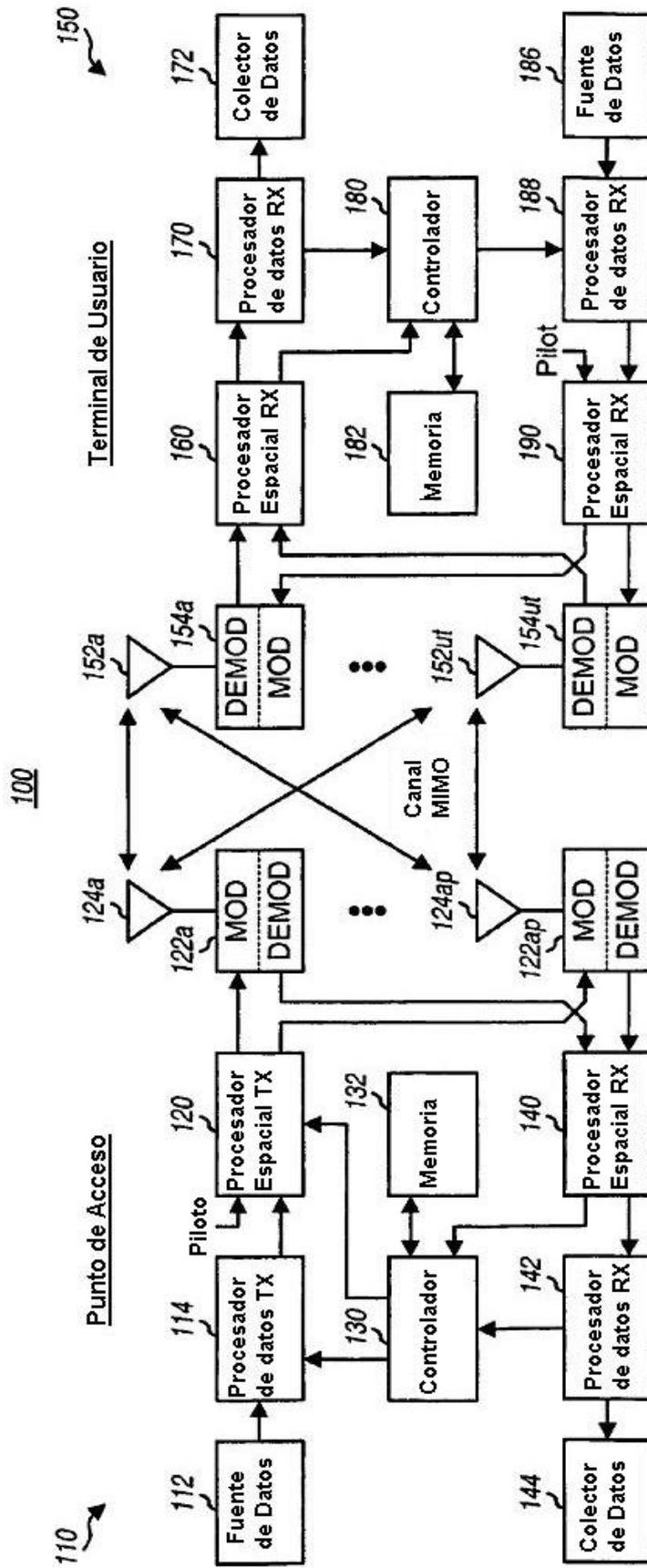


FIG. 1

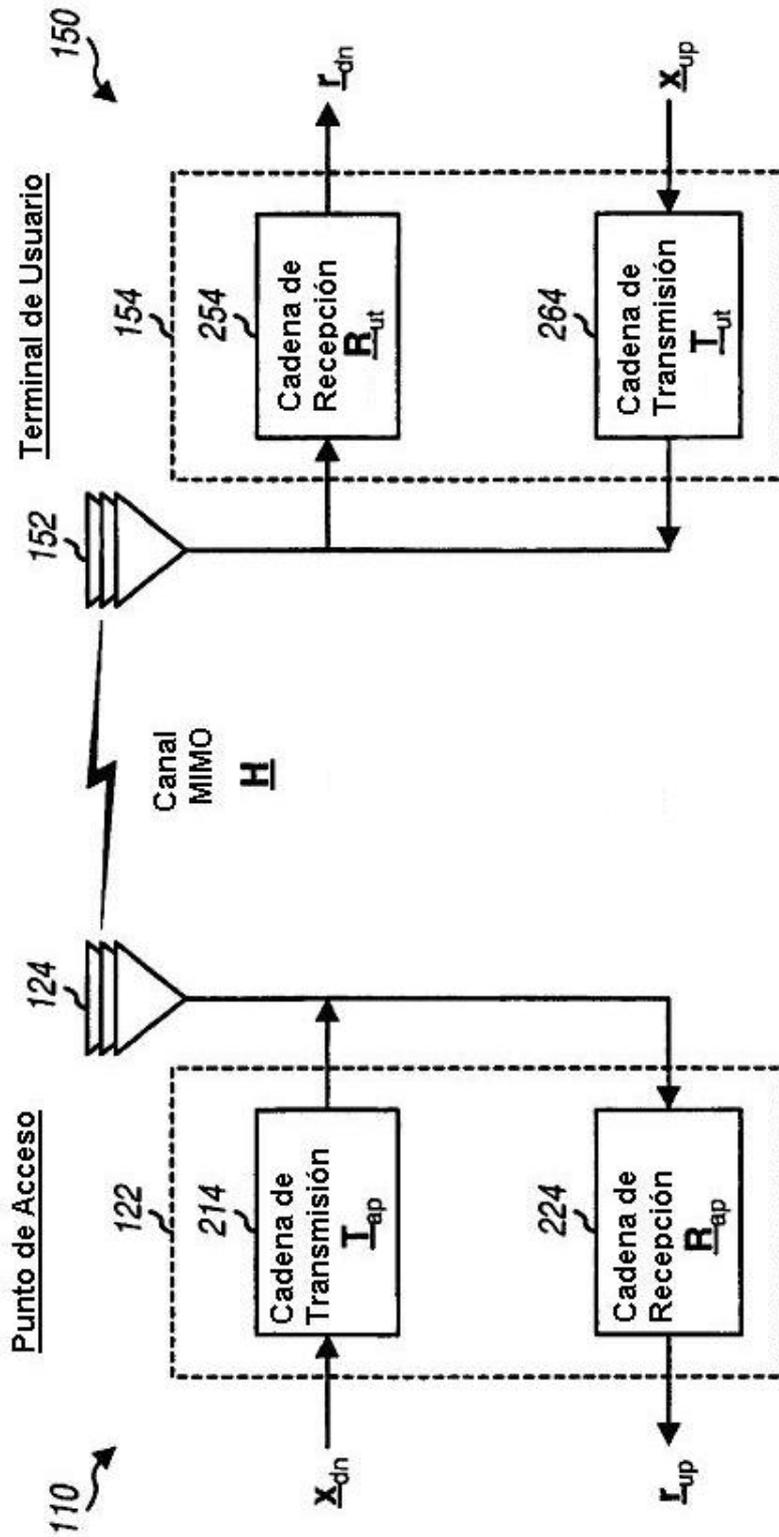


FIG. 2A

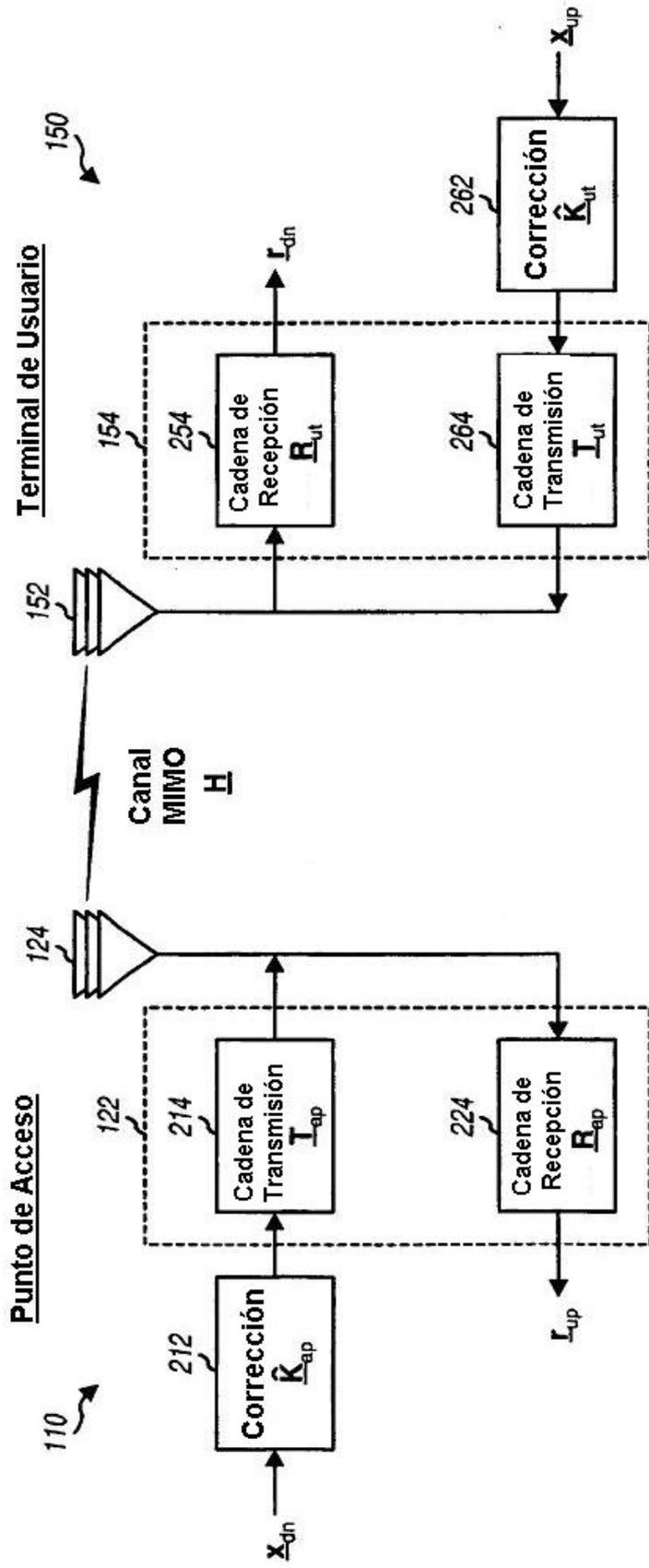


FIG. 2B

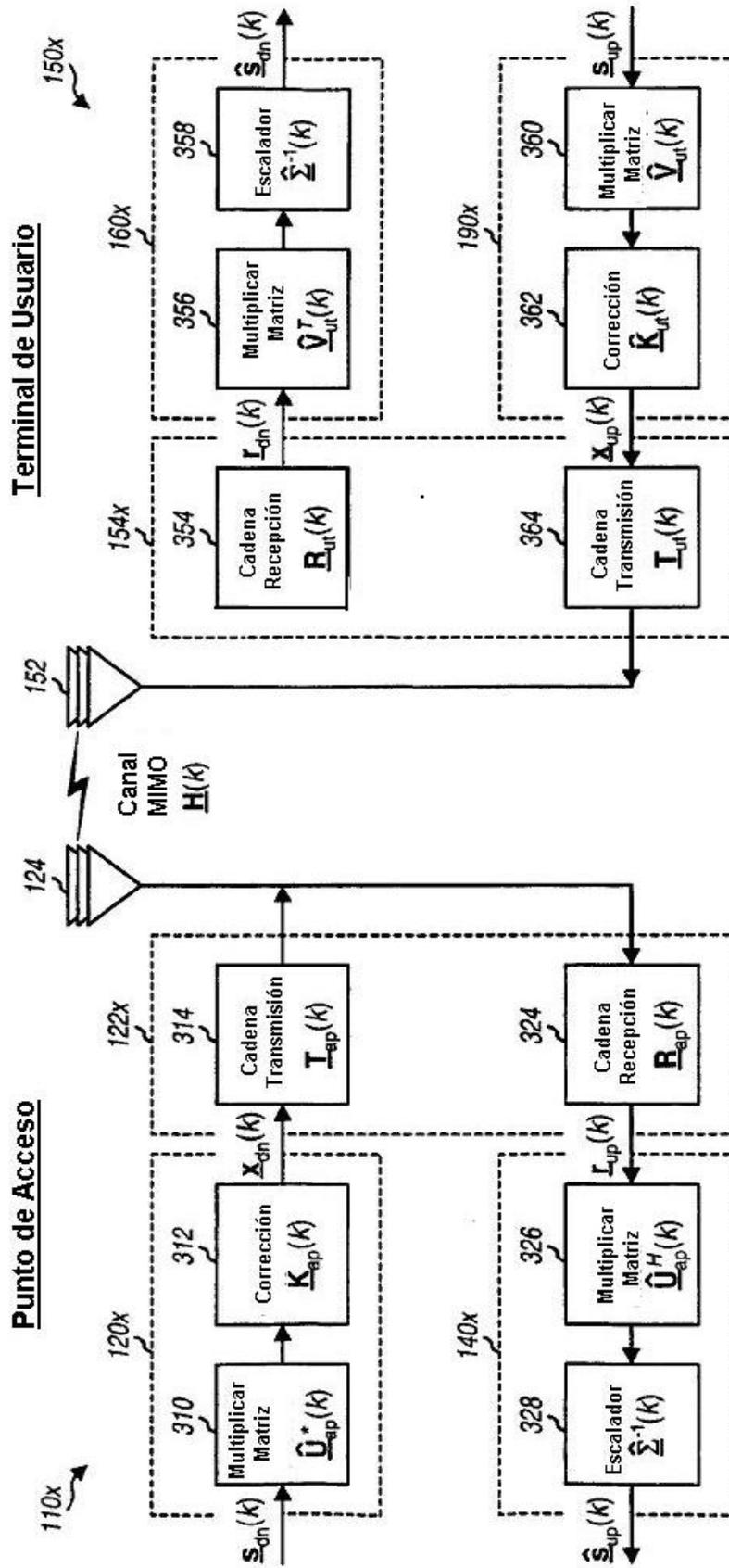


FIG. 3

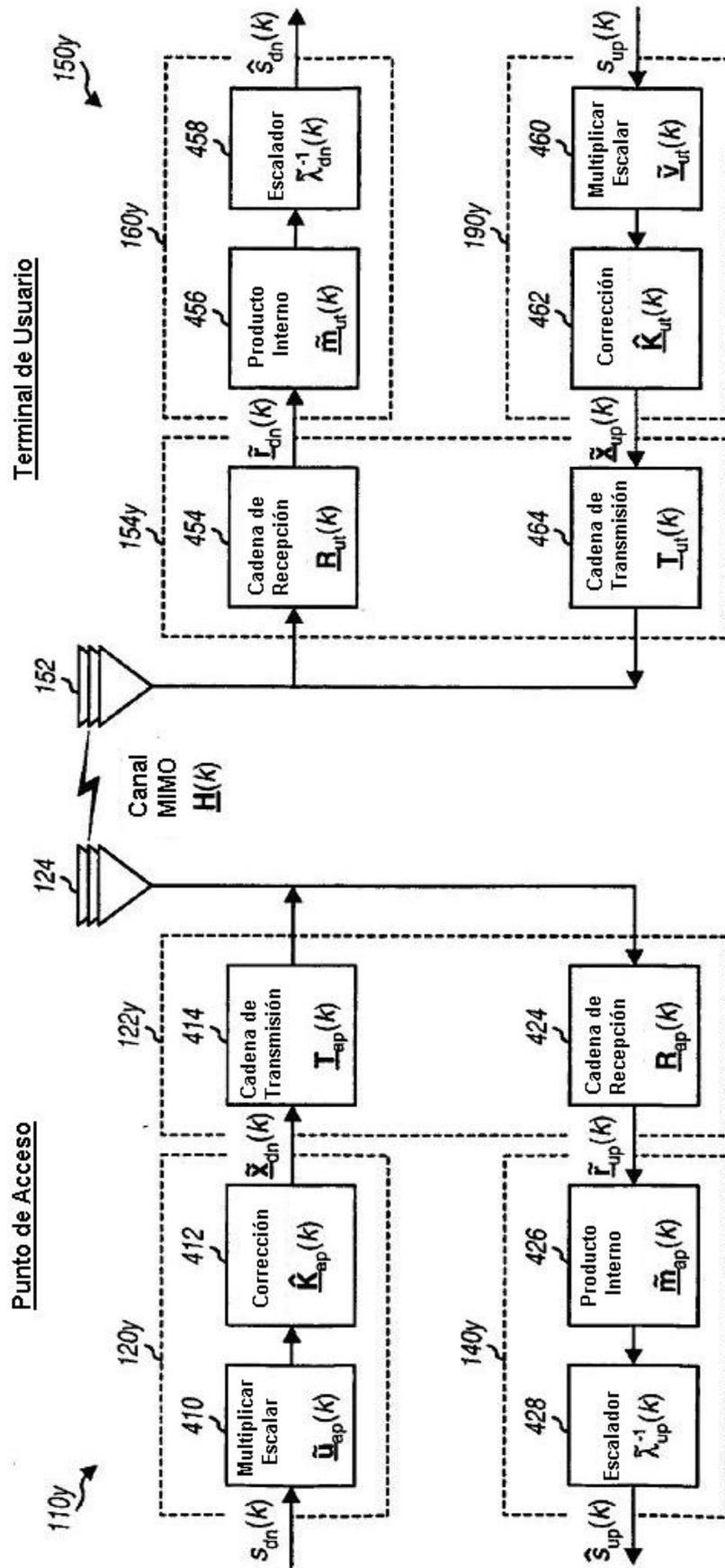


FIG. 4

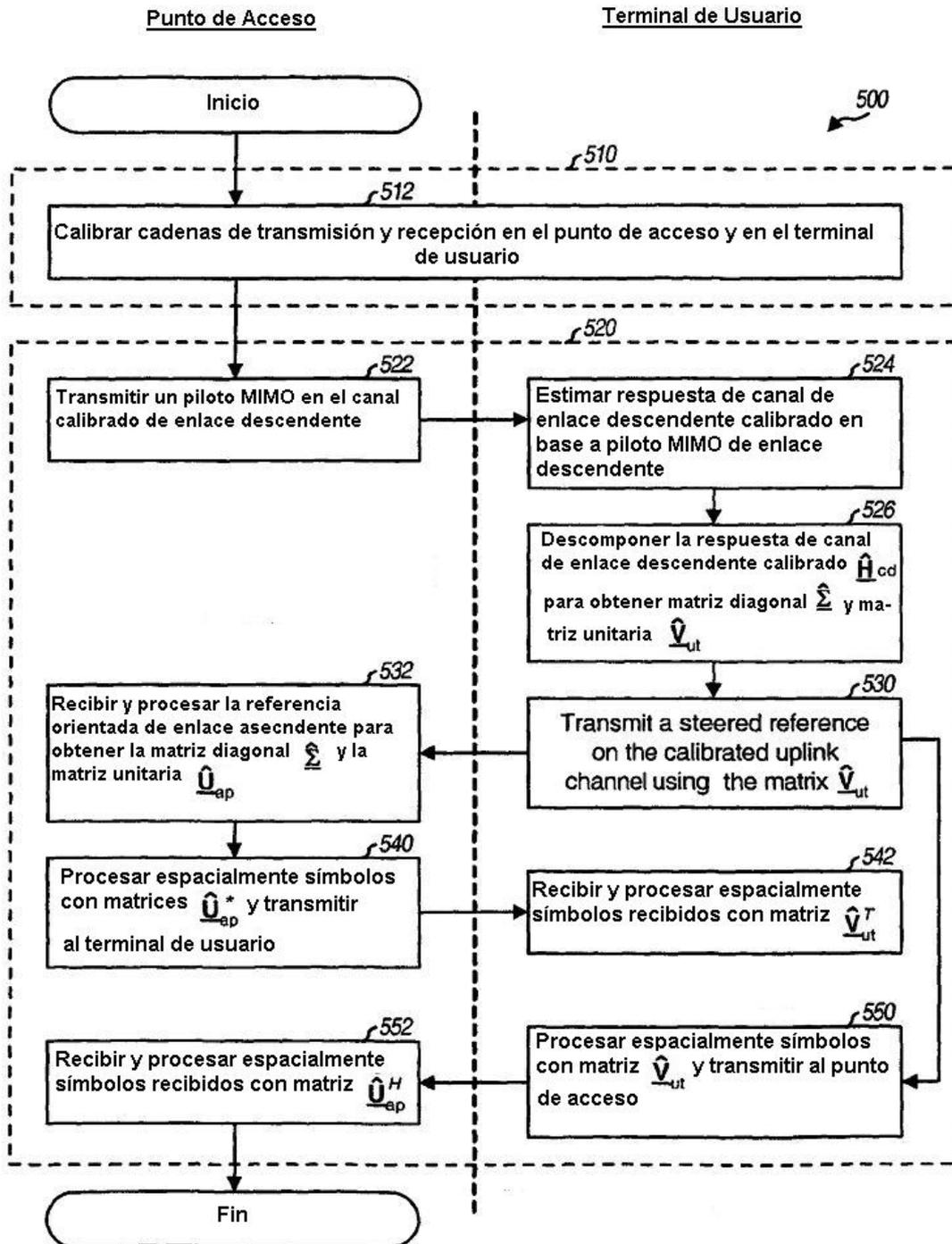


FIG. 5