

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 426 164**

51 Int. Cl.:

H04L 25/03 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.04.2011** **E 11163376 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.07.2013** **EP 2515495**

54 Título: **Procedimiento y aparato para determinar un vector de precodificación para precodificar datos que van a ser transmitidos a un dispositivo inalámbrico en un sistema de comunicación inalámbrica**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
21.10.2013

73 Titular/es:

NTT DOCOMO, INC. (100.0%)
Sanno Park Tower 36th Floor 11-1 Nagata-cho 2-
chome Chiyoda-ku
Tokyo 100-6150, JP

72 Inventor/es:

BAZZI, SAMER y
DIETL, GUIDO

74 Agente/Representante:

PONTI SALES, Adelaida

ES 2 426 164 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

Procedimiento y aparato para determinar un vector de precodificación para precodificar datos que van a ser transmitidos a un dispositivo inalámbrico en un sistema de comunicación inalámbrica.

5 **[0001]** Las modalidades de acuerdo con la invención se relacionan con sistemas de comunicación inalámbricos y particularmente con un procedimiento y un aparato para determinar un vector de precodificación para precodificar datos que van a ser transmitidos a un dispositivo inalámbrico en un sistema de comunicación inalámbrico.

10 **[0002]** Los sistemas celulares de usuarios múltiples de entrada múltiple y salida múltiple (MIMO) se encuentran bajo desarrollo continuo para futura comunicación inalámbrica. Un tópico es la maximización de las velocidades de usuario en el borde celular en sistemas celulares de interferencia limitada. La interferencia entre células (ICI) es el cuello de botella de un sistema para las redes celulares actuales y se han intentado muchos procedimientos existentes para mitigarla utilizando diferentes técnicas. Los usuarios en los bordes de células padecen
15 principalmente de una fuerte interferencia de las estaciones de base vecinas y esto se refleja directamente en velocidades asequibles menores.

[0003] La figura 11A muestra una ilustración esquemática de un modelo de sistema MISO (entrada múltiple salida única) de dos células para una precodificación lineal MISO. Muestra dos estaciones de base BS1, BS2 que cubren la célula 1 y la célula 2 y dos dispositivos inalámbricos UE1, UE2 (equipo de usuario 1, equipo de usuario 2). Además, la figura 11B muestra los enlaces directos (señal útil) y los enlaces de interferencia (interferencia) por ilustración esquemática de los canales entre las estaciones de base BS1 y BS2 y los dispositivos inalámbricos UE1 y UE2, cuando la estación 1 de base utiliza un formador de haz b_1 y una estación 2 de base utiliza un formador de haz b_2 .

25 **[0004]** En otras palabras, un escenario MISO de dos células con un usuario único por célula se considera como se muestra en la figura 11A, en donde cada BS tiene M antenas y cada receptor en el borde de célula tiene una antena. Este modelo de sistema también se puede considerar como un canal de interferencia (IC) MISO de dos usuarios, como se muestra en la figura 12, en donde un usuario en el contexto de los IC indica un par transmisor/receptor. El símbolo de datos $s_i \sim N_C(0, 1)$ ($i = 1,2$) es precodificado linealmente por el precodificador $p_i \in C^{M \times 1}$ y se transmite
30 sobre el canal $h_{ji} \in C^{M \times 1}$ para ser recibido por un usuario i. Debido a la naturaleza del sistema, también se transmitirá en el canal $h_{ji} \in C^{M \times 1}$, $j \neq i$, y será recibido por el usuario j como interferencia no deseada. La señal

transmitida se somete a una limitante de potencia de transmisión $E \left[\|p_i s_i\|_2^2 \right] = E_{tx_i}$. En el lado receptor, la señal

obtenida es perturbada por ruidos $n_i \sim N_C(0, \sigma^2)$. Escribir los cálculos obtenidos de los símbolos de datos proporcionados:

35

$$\begin{aligned} \hat{s}_1 &= h_{11}^T p_1 s_1 + h_{12}^T p_2 s_2 + n_1 \\ \hat{s}_2 &= h_{22}^T p_2 s_2 + h_{21}^T p_1 s_1 + n_2, \end{aligned} \tag{1}$$

40

en donde $(\bullet)^T$ indica transposición.

45 **[0005]** La medida más común que captura el desempeño del sistema está proporcionada por la tasa de suma asequible C:

50

$$C = \sum_{i=1}^2 \log_2(1 + \text{SINR}_i), \tag{2}$$

en donde SINR_1 y SINR_2 son las relaciones de señal recibida respecto a ruido de interferencia del receptor 1 y 2, respectivamente:

$$\text{SINR}_1 = \frac{|h_{11}^T p_1|^2}{|h_{12}^T p_2|^2 + \sigma_1^2} \quad (3)$$

$$\text{SINR}_2 = \frac{|h_{22}^T p_2|^2}{|h_{21}^T p_1|^2 + \sigma_2^2}.$$

5

10 **[0006]** En lo siguiente, los índices i y j en donde $i \in \{1, 2\}$ y $J \neq i$.

[0007] Un enfoque de maximización de tasa de suma conocido es el algoritmo de determinación de precio de interferencia distribuido descrito en "D.A. Schmidt, C. Shir, R. A. Berry, M. Honig and W. Utschick, "Distributed Resource Allocation Schemes", IEEE Signal Processing Magazine, Sept. 2009, pp. 53-63". Este procedimiento repetitivo comienza con cada receptor anunciando un precio de interferencia para las estaciones de base que interfieren BS, suponiendo células con usuarios únicos. En la práctica, cada receptor retroalimenta estos precios a su estación de base correspondiente BS y esta última se comunica con otras BS; por lo tanto, se requiere cooperación entre BS. El precio de interferencia de cada receptor depende de los formadores de haz iniciales de las BS que interfieran. después, cada BS por separado realiza una maximización de su tasa de usuario correspondiente, tomando en consideración los precios de interferencia anunciados por otros receptores y por lo tanto es un enfoque distribuido. Por lo tanto, se puede considerar como un enfoque egoísta sometido a cierto castigo que se paga cuando se provoca interferencia a otros usuarios. La maximización resulta en formadores de haces nuevos. Posteriormente, los receptores actualizan sus precios de interferencia y se calculan nuevamente formadores de haces nuevos, de acuerdo con los precios de interferencia actualizados. El procedimiento se repite hasta convergencia.

[0008] Se han considerado diferentes soluciones para mitigar la interferencia en sistemas limitados por interferencia. Hasta ahora, las mejores soluciones que se han propuesto son soluciones distribuidas, en las cuales cada transmisor intenta maximizar su propia tasa tomando en consideración precios de interferencia anunciados por los receptores en el sistema (C. Shi, R. A. Berry and M. Honig, "Distributed Interference Pricing with MISO Channels", en Proc. 46th Annual Allerton Conference 2008, Urbana-Champaign, IL, Sept. 2008, pp. 539-546 y D.A. Schmidt, C. Shir, R. A. Berry, M. Honig and W. Utschick, "Distributed Resource Allocations Schemes", IEEE Signal Processing Magazine, SEPT. 2009, PP. 53-63). Formalmente, el precio de interferencia π_i representa la disminución marginal en la tasa del receptor i posterior a un incremento marginal en la interferencia causada por el transmisor j , y se define como:

$$\pi_i = -\frac{\partial u_i}{\partial I_i}, \quad (4)$$

40 en donde $u_i = \log_2(1 + \text{SINR}_i)$ es la tasa del receptor i e $I_i = |h_{ij}^T p_j|^2$ es la potencia de interferencia presente en el receptor i (véase la ecuación 3).

[0009] Dado los precios de interferencia fijos, cada BS i resuelve el siguiente problema:

$$p_{i,\text{opt}} = \underset{p_i}{\text{argmax}} \quad u_i - \pi_j |h_{ji}^T p_i|^2 \quad \text{s.t.} \quad p_i^H p_i = E_{\text{tx}_i}, \quad i = 1, 2, \quad (5)$$

45 en donde $(\bullet)^H$ indica transposición conjugada. La función objetivo de cada BS se puede considerar que es la tasa asequible menos el costo de interferencia que genera a otros usuarios. Es un enfoque egoísta que toma en consideración el castigo que se paga cuando se provoca interferencia a otros usuarios. Para implementar este algoritmo, cada receptor debe anunciar un precio de interferencia a cada BS que interfiera. En la práctica, cada receptor retroalimenta estos precios a su estación de base (BS) correspondiente y esta última las comunica a otras BS; por lo tanto se requiere cooperación de BS. Dados estos precios de interferencia, cada BS calcula su mejor precodificador. El algoritmo de manera repetitiva actualiza los precodificadores y los precios de interferencia hasta que se alcanza convergencia. Para calcular los precios de interferencia, cada receptor requiere el conocimiento de una energía de señal útil y de interferencia. No es necesario conocimiento de precodificador en el lado del receptor. Para calcular los precodificadores óptimos, cada BS i requiere el conocimiento de las ganancias de canal, h_{ki} , $k = 1, 2$.

60 **[0010]** La figura 11A muestra un ejemplo para una configuración objetivo en una transmisión de enlace descendente en un sistema de células múltiples COMP/MIMO (sistema coordinado de punto múltiple/entrada múltiple y salida múltiple) como se describe por el algoritmo de determinación de precio de interferencia distribuido. La formación de haz cooperante se puede utilizar con el fin de maximizar las tasas de usuario de borde de célula, pero la solución de forma cerrada no existe y se tiene como resultado una carga excesiva de señalización. La figura 13 ilustra

esquemáticamente el algoritmo de determinación de precio de interferencia distribuido entre dos estaciones de base. En primer lugar se transmite un anuncio de los castigos de los precios de interferencia p_i por los receptores (dispositivos inalámbricos). El precio de interferencia representa una disminución marginal en la tasa para un incremento marginal en la interferencia. Después, las estaciones de base maximizan de manera repetitiva su propia tasa tomando en consideración los precios anunciados p_i , lo cual es un enfoque egoísta. Por ejemplo, la estación 1 de base resuelve la siguiente ecuación:

$$\underbrace{\log(1 + \text{SINR}_1)}_{\text{tasa de usuario 1}} + \underbrace{f(p_2)}_{\text{castigo}}$$

[0011] El formador de haz cooperante calcula de manera conjunta b_1 y b_2 para maximizar C , pero las soluciones de forma cerrada de los formadores de haz no existen y es cuestionable lo que se puede señalizar y a que costo (carga excesiva).

[0012] Con esta solución, una fase de señalización antes de cada repetición es necesaria. Optimiza de manera repetitiva las tasas de usuario de borde de célula sometidas a castigos de interferencia por células vecinas. Los castigos de interferencia se señalizan sobre el enlace de aire y después se intercambian sobre la transmisión punto a punto (por repetición).

[0013] La figura 14 ilustra la señalización inicial y la fase de señalización de cada repetición por una ilustración esquemática de los canales entre dos estaciones de base y dos dispositivos inalámbricos UE1, UE2. La estación de base 1 encuentra b_1 , lo cual maximiza la siguiente ecuación:

$$\underbrace{\log(1 + \text{SINR}_1)}_{\substack{\text{tasa de usuario 1} \\ \text{(aproximada por } |h_{11}^T b_1|^2)}}} - \underbrace{p_2 |h_{21}^T b_1|^2}_{\text{castigo debido a interferencia}}$$

[0014] Este enfoque tiene una convergencia lenta debido a un enfoque egoísta, requiere de una gran capacidad de computación y no es adaptable para sistemas que varían rápidamente, necesita procesamiento adicional en el lado del receptor y comunicación adicional vía un enlace de aire (enlace inalámbrico).

[0015] Un objetivo de la presente invención es proporcionar un concepto mejorado para determinar un vector de precodificación para precodificar datos que van a ser transmitidos a un dispositivo inalámbrico en un sistema de comunicación inalámbrico el cual permite incrementar la velocidad de datos asequible para la comunicación con dispositivos inalámbricos, especialmente para usuarios en el borde de célula.

[0016] El objetivo se resuelve por el procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 o un aparato de acuerdo con la reivindicación 14.

[0017] Una modalidad de la invención proporciona un procedimiento para determinar un vector de precodificación para precodificar datos que van a ser transmitidos a un dispositivo inalámbrico en un sistema de comunicación inalámbrico. El procedimiento comprende recibir una primera información de estado de canal de un canal entre un primer dispositivo inalámbrico y una primera estación de base en un sistema de comunicación inalámbrico. La primera información de estado de canal es recibida por la primera estación de base desde el primer dispositivo inalámbrico. Además, el procedimiento comprende recibir primera información de ganancia de canal de un canal entre un segundo dispositivo inalámbrico y la primera estación de base, recibir un primer parámetro de fuerza de señal desde la segunda estación de base indicando una fuerza de señal en el segundo dispositivo inalámbrico provocada por la segunda estación de base y recibir un primer parámetro de fuerza de interferencia desde la segunda estación de base indicando una fuerza de interferencia en el primer dispositivo inalámbrico causado por la segunda estación de base. La primera información de ganancia de canal es recibida desde la segunda estación de base. Adicionalmente, el procedimiento comprende maximizar una señal común para la relación de interferencia a ruido, con el fin de obtener un vector de precodificación para datos precodificados que va a ser transmitido al primer dispositivo inalámbrico. La señal común en el parámetro de relación de interferencia/ruido depende de una relación de señal respecto a ruido de interferencia en el primer dispositivo inalámbrico y una relación de señal respecto a ruido de interferencia en el segundo dispositivo inalámbrico y se basa en la primera información de estado de canal, la primera información de ganancia de canal, el primer parámetro de fuerza de señal y el primer parámetro de fuerza de interferencia.

[0018] Las modalidades de acuerdo con la presente invención se basan en la idea central de que se maximice un parámetro común de relación señal a ruido de interferencia, lo cual depende de una relación de señal a ruido de ruido de interferencia en el primer dispositivo inalámbrico y una relación de señal respecto a ruido de interferencia en el segundo dispositivo inalámbrico, de manera que la tasa de suma asequible proporcionada a ambos dispositivos inalámbricos se puede incrementar. Al maximizar la señal común al parámetro de relación de ruido de interferencia, el cual puede ser, por ejemplo, la tasa de suma, el total de la tasa de datos combinada especialmente de usuarios

en el borde (dispositivos inalámbricos en el borde de una célula) se puede incrementar puesto que la interferencia se mitiga. Además, en comparación con los enfoques conocidos, se requiere menos señalización entre las estaciones de base y los dispositivos inalámbricos, dado que no es necesario establecimiento de precio de información desde los dispositivos inalámbricos. Además, se puede obtener una convergencia rápida del algoritmo que resulta en un menor esfuerzo computacional.

[0019] En algunas modalidades de acuerdo con la invención, el parámetro de relación común de señal respecto al ruido en la interferencia representa una tasa de suma del primer dispositivo inalámbrico y el segundo dispositivo inalámbrico, una relación común de señal respecto a ruido de interferencia en el primer dispositivo inalámbrico y el segundo dispositivo inalámbrico o una unión menor de una relación común señal a ruido de interferencia en el primer dispositivo inalámbrico y en el segundo dispositivo inalámbrico.

[0020] Mediante la utilización de una unión menor de la relación común de señal respecto a ruido de interferencia, se puede reducir de manera significativa la complejidad computacional.

[0021] Las modalidades de acuerdo con la invención se detallarán subsecuentemente con referencia a las figuras anexas, y las cuales:

la figura 1 es un diagrama de flujo de un procedimiento para determinar un vector de precodificación para precodificar datos que van a ser transmitidos a un dispositivo inalámbrico;

la figura 2 ilustra un posible parámetro común de relación de señal respecto a ruido de interferencia;

la figura 3 es un diagrama esquemático que muestra la señalización utilizando el enfoque propuesto;

la figura 4 muestra un diagrama de flujo de un procedimiento para determinar un vector de precodificación para precodificar datos que van a ser transmitidos a un dispositivo inalámbrico;

la figura 5 es una ilustración esquemática de dos células en un sistema de comunicación inalámbrico utilizando los conceptos propuestos;

la figura 6 es una ilustración esquemática de canales y comunicación entre dos estaciones de base y dos dispositivos inalámbricos utilizando el concepto propuesto;

la figura 7 muestra un diagrama que compara diferentes enfoques para considerar una unión menor de la función objetivo;

la figura 8 muestra un diagrama que indica los resultados de tasa para los usuarios de borde de célula;

la figura 9 es un diagrama que indica gráficas de convergencia;

la figura 10 es un diagrama de bloques de un aparato para determinar un vector de precodificación para precodificar datos que van a ser transmitidos a un dispositivo inalámbrico;

la figura 11A es una ilustración esquemática de un escenario MISO de dos células con usuarios en el borde de la célula que representan una interpretación de sistema;

la figura 11B es una ilustración esquemática de los canales entre las dos estaciones de base y dos dispositivos inalámbricos;

la figura 12 es un diagrama de bloques esquemático de un escenario MISO de dos células que representa un modelo teórico;

la figura 13 es una ilustración esquemática de dos células de un sistema de comunicación inalámbrico utilizando un enfoque basado en precio de interferencia;

la figura 14 es una ilustración esquemática de canales y señales entre dos estaciones de base y dos dispositivos inalámbricos utilizando un enfoque basado en precio de interferencia; y

la figura 15 es un diagrama esquemático que muestra la señalización utilizando el enfoque basado en precio de interferencia, conocido.

[0022] En lo siguiente, los mismos números de referencia se utilizan parcialmente para objetos y unidades funcionales que tienen propiedades funcionales iguales o similares y la descripción de las mismas con respecto a una figura se aplicarán a todas las demás figuras con el fin de reducir redundancia en la descripción de las modalidades.

[0023] La figura 1 muestra un diagrama de flujo de un procedimiento 100 para determinar un vector de precodificación $p_{i,opt}$ para precodificar datos que van a ser transmitidos a un dispositivo inalámbrico en un sistema de comunicación inalámbrico de acuerdo con una modalidad de la invención. El procedimiento 100 comprende recibir 110 una primera información de estado de canal de un canal entre un primer dispositivo inalámbrico y una primera estación de base en un sistema de comunicación inalámbrico. La primera información de estado de canal es recibida por la primera estación de base desde el primer dispositivo inalámbrico. Adicionalmente, la primera información de ganancia de canal de un canal entre un segundo dispositivo inalámbrico y la primera estación de base se recibe 120. Esta primera información de ganancia de canal es recibida 120 desde la segunda estación de base. Además, el procedimiento comprende recibir 130 un primer parámetro de fuerza de señal b_i desde la segunda estación de base indicando una fuerza de señal en el segundo dispositivo inalámbrico causada por la segunda estación de base y recibir 140 un primer parámetro de fuerza de interferencia a_i desde la segunda estación de base indicando una fuerza de interferencia en el primer dispositivo inalámbrico causado por una segunda estación de base. Adicionalmente, el procedimiento comprende maximizar 150 parámetro de relación común señal respecto a ruido de interferencia C , \overline{SINR} , \overline{SINR}_{bajo} , \overline{SINR}' , para obtener una precodificación $p_{i,opt}$, para precodificar datos que van a ser transmitidos al primer dispositivo inalámbrico. El parámetro de relación común señal respecto a ruido de interferencia C , \overline{SINR} , \overline{SINR}_{bajo} , \overline{SINR}' , depende de una relación de señal respecto a ruido de interferencia $SINR_1$ (relación de señal respecto a interferencia y señal de ruido en el primer dispositivo inalámbrico) en el primer dispositivo inalámbrico y la relación de señal respecto a ruido de interferencia $SINR_2$ (relación de señal respecto a interferencia y relación de ruido en el segundo dispositivo inalámbrico) en el segundo dispositivo inalámbrico. Además, el parámetro de relación común señal respecto a ruido de interferencia C , \overline{SINR} , \overline{SINR}_{bajo} , \overline{SINR}' , se basa en la primera información de estado de canal, la primera información de ganancia de canal h_{21} , el primer parámetro de fuerza de señal b_i y el primer parámetro de interferencia a_i .

[0024] Mediante la utilización del vector de precodificación obtenido mediante la utilización del concepto propuesto para precodificar datos para una transmisión a un dispositivo inalámbrico, se puede incrementar la tasa de suma para proporcionar datos a los dispositivos inalámbricos en un sistema de comunicación inalámbrico, puesto que la interferencia en dos o más de los dispositivos inalámbricos se considera para la determinación del vector de precodificación de una manera que se maximiza la tasa de suma. Para esto, la información de estado de canal es recibida desde un primer dispositivo inalámbrico en una primera estación de base y la información adicional y los parámetros respecto a uno o más de otros dispositivos inalámbricos se reciben desde una o más estaciones de base adicionales. Con esta información, se puede llevar a cabo una maximización 150 del parámetro de la relación común de señal respecto a ruido de interferencia (también denominado parámetro común de señal respecto a interferencia y relación de ruido) sobre los posibles vectores de precodificación. Una información de precio de interferencia, como se utiliza por los procedimientos conocidos, no es necesaria. Por lo tanto, el concepto propuesto puede requerir menos señalización entre las estaciones de base y dispositivos inalámbricos (a través del enlace de aire o un canal inalámbrico).

[0025] Aunque únicamente se mencionan dos estaciones de base y dispositivos inalámbricos, el concepto descrito también se puede aplicar a un número arbitrario de estaciones de base y dispositivos inalámbricos.

[0026] Un dispositivo inalámbrico es, por ejemplo, un teléfono móvil, una computadora portátil (laptop) o de manera más general un equipo de usuario UE que requiere datos a través de un canal inalámbrico.

[0027] El procedimiento 100 propuesto se puede llevar a cabo preferiblemente en la estación de base (por ejemplo en la primera estación de base). De manera alternativa, la maximización 150 se realiza por un controlador central que recibe la primera información de ganancia de canal, el primer parámetro de fuerza de señal y el primer parámetro de fuerza de interferencia. En este caso, la primera estación de base puede utilizar la primera información de estado de canal y la segunda información de estado de canal para calcular la información de ganancia de canal de un canal h_{11} entre el primer dispositivo inalámbrico y la primera estación de base y transmitir esta información de ganancia de canal a un controlador central. De manera alternativa, la primera información de estado de canal se puede transmitir al controlador central y la información de ganancia de canal correspondiente se puede calcular por el controlador central.

[0028] Por ejemplo, se obtiene una información de estado de canal por una cuantificación de vector de canal en el dispositivo inalámbrico y comprende una entrada de libro de registro junto con un indicador de calidad de canal que representa un valor SINR (valor de relación de señal respecto a interferencia y ruido). En base en la primera información de estado de canal se puede calcular una información de ganancia de canal h_{11} de un canal entre el primer dispositivo inalámbrico y la primera estación de base. Esta información de ganancia de canal puede ser un parámetro de enlace del parámetro de relación común señal respecto a ruido de interferencia de manera que el parámetro de relación común señal respecto a ruido de interferencia se basa en la primera información de estado de canal a través de esta información de ganancia de canal.

[0029] La primera información de ganancia de canal, h_{21} , el primer parámetro de fuerza de señal b_i y el primer parámetro de fuerza de interferencia a_i se pueden recibir a través de un canal cableado desde la segunda estación

de base (a través de la transmisión punto a punto del sistema de comunicación inalámbrico). En contraste, la primera información de estado de canal se recibe a través de un canal inalámbrico (enlace aéreo) desde el primer dispositivo inalámbrico. Por lo tanto, el intercambio de datos necesario a través del canal inalámbrico se puede mantener bajo o reducido en comparación con procedimientos conocidos, puesto que la primera información de ganancia de canal, el primer parámetro de fuerza de señal y el primer parámetro de fuerza de interferencia se intercambian a través de la transmisión punto a punto del sistema de comunicación inalámbrico.

[0030] En relación con el concepto propuesto, un parámetro de fuerza de señal puede indicar en general una fuerza de señal en un dispositivo inalámbrico causada por una estación de base que responde al dispositivo inalámbrico (el dispositivo inalámbrico es asignado a la estación de base) cuando se utiliza un vector precodificante, el cual se utiliza para el cálculo del parámetro de fuerza de señal. Por ejemplo, el parámetro de fuerza de señal comprende un valor grande para una fuerza de señal alta y un valor bajo para una fuerza de señal baja. Además, un parámetro de fuerza de interferencia puede indicar en general una fuerza de interferencia en un dispositivo inalámbrico causado por una estación de base que no responde para el dispositivo inalámbrico (el dispositivo inalámbrico es asignado a otra estación de base) cuando se utiliza un vector precodificante, el cual se utiliza para el cálculo del parámetro de fuerza de interferencia. Por ejemplo, el parámetro de fuerza de interferencia comprende un valor grande para una fuerza de interferencia alta y un valor bajo para una fuerza de interferencia baja. Además, un parámetro de fuerza de interferencia puede indicar no solo una fuerza de interferencia sino (una suma de) la fuerza de interferencia y la fuerza de ruido en un dispositivo inalámbrico.

[0031] La primera formación de ganancia de canal h_{21} , el primer parámetro de fuerza de señal b_i y el primer parámetro de fuerza de interferencia a_i se pueden calcular por la segunda estación de base antes de que se transmitan a la primera estación de base. Para calcular la primera información de ganancia de canal h_{21} , el primer parámetro de fuerza de señal b_i y/o el primer parámetro de fuerza de interferencia a_i , la segunda estación de base puede requerir una información de ganancia de canal de un canal entre el primer dispositivo inalámbrico y la segunda estación de base. Por lo tanto, el procedimiento 100 puede comprender adicionalmente recibir una segunda información de estado de canal de un canal entre el primer dispositivo inalámbrico y una segunda estación de base en el sistema de comunicación inalámbrico. La segunda información de estado de canal se puede recibir por la primera estación de base desde el primer dispositivo inalámbrico. Además, una segunda información de ganancia de canal del canal entre el primer dispositivo inalámbrico y la segunda estación de base se pueden calcular en base en la segunda información de estado de canal y la segunda información de ganancia de canal h_{12} se puede transmitir a la segunda estación de base. Esto se puede realizar por la primera estación de base o el controlador central en una implementación alternativa mencionada antes.

[0032] En algunas modalidades de acuerdo con la invención, la segunda estación de base también puede realizar el procedimiento de acuerdo con el concepto descrito. De esta manera, ambas estaciones de base pueden determinar un vector precodificante para precodificar datos que van a ser transmitidos a un dispositivo inalámbrico asignado a la estación de base respectiva al recibir información de estado de canal (primera información de estado de canal) desde el dispositivo inalámbrico asignado respectivo y recibir primera información de ganancia de canal, un primer parámetro de fuerza de señal y un primer parámetro de fuerza de interferencia desde la otra estación de base.

[0033] Para esto, la estación de base calcula un parámetro de fuerza de señal que indica una fuerza de señal en el dispositivo inalámbrico asignado causado por el mismo y un parámetro de fuerza de interferencia que indica una fuerza de interferencia en el otro dispositivo inalámbrico causado por el mismo y transmite el parámetro de fuerza de señal calculado y el parámetro de fuerza de interferencia calculada a la otra estación de base.

[0034] En otras palabras, de manera consistente con la redacción anterior, el procedimiento puede comprender además calcular un segundo parámetro de fuerza de señal b_i que indica una fuerza de señal en el primer dispositivo inalámbrico causado por la primera estación de base y calcular un segundo parámetro de fuerza de interferencia a_i , que indica una fuerza de interferencia en el segundo dispositivo inalámbrico causado por la primera estación de base. El procedimiento puede comprender además transmitir el segundo parámetro de fuerza de señal b_i y el segundo parámetro de fuerza de interferencia a_i a la segunda estación de base. De esta manera, ambas estaciones de base pueden determinar un vector precodificante al maximizar un parámetro de relación común de señal respecto a ruido de interferencia de manera que se pueda incrementar la tasa de suma asequible de datos que van a ser transmitidos a los dispositivos inalámbricos.

[0035] Además, con esta solución se puede llevar a cabo una optimización repetitiva del vector de precodificación determinado, dado que cada estación de base puede calcular un parámetro de fuerza de interferencia nuevo y un parámetro de fuerza de señal nuevo en base en el vector de precodificación determinado previamente y transmitirlo a la otra estación de base.

[0036] En otras palabras, de manera consistente con la redacción anterior, el procedimiento puede comprender además recibir un tercer parámetro de fuerza de señal y un tercer parámetro de fuerza de interferencia a_i desde la segunda estación de base. El tercer parámetro de fuerza de señal b_i se puede calcular por la segunda estación de base en base en el segundo parámetro de fuerza de señal transmitido b_i y el segundo parámetro de fuerza de interferencia transmitido a_i . Además, el tercer parámetro de fuerza de señal b_i puede indicar una fuerza de señal en

el segundo dispositivo inalámbrico causada por la segunda estación de base bajo consideración del segundo parámetro de fuerza de señal transmitido b_i y el segundo parámetro de fuerza de interferencia transmitido a_i . El tercer parámetro de fuerza de interferencia a_i se puede calcular por la segunda estación de base en base en el segundo parámetro de fuerza de señal transmitido b_i y el segundo parámetro de fuerza de interferencia a_i . Además, el tercer parámetro de fuerza de interferencia a_i puede indicar una fuerza de interferencia en el primer dispositivo inalámbrico causada por la segunda estación de base bajo consideración del segundo parámetro de fuerza de señal transmitido b_i y el segundo parámetro de fuerza de interferencia transmitido a_i . Adicionalmente, se puede obtener un nuevo vector de precodificación al maximizar el parámetro de relación común de señal respecto a ruido de interferencia, el cual ahora se basa en la primera información de estado de canal, la primera información de ganancia de canal, el tercer parámetro de fuerza de señal y el tercer parámetro de fuerza de interferencia, de manera que el vector de precodificación puede ser optimizado de manera repetitiva.

[0037] De esta manera, el parámetro de relación común de señal respecto a ruido de interferencia también depende del primer parámetro de fuerza de señal y del primer parámetro de fuerza de interferencia, puesto que el tercer parámetro de fuerza de señal y el tercer parámetro de fuerza de interferencia se calculan en base en el segundo parámetro de fuerza de señal y el segundo parámetro de fuerza de interferencia, los cuales se calculan en base en el primer parámetro de fuerza de señal y el primer parámetro de fuerza de interferencia.

[0038] En algunas modalidades de acuerdo con la invención, el parámetro de la relación común de señal respecto a ruido de interferencia puede representar una tasa de suma C del primer dispositivo inalámbrico y el segundo dispositivo inalámbrico, una relación común de señal respecto a ruido de interferencia \overline{SINR} en el primer dispositivo inalámbrico y el segundo dispositivo inalámbrico o una unión menor de la relación común de señal respecto a ruido de interferencia \overline{SINR}_{bajo} en el primer dispositivo inalámbrico y el segundo dispositivo inalámbrico. En lo siguiente se describe un ejemplo detallado para un procedimiento para determinar un vector de precodificación de acuerdo con el concepto propuesto. Las características descritas se pueden utilizar juntas o se pueden utilizar independientes entre sí en combinación con el concepto básico descrito en lo anterior. En relación con el ejemplo detallado, el concepto propuesto también se puede observar como una maximización directa a la tasa de suma de sistema con una cooperación de estación de base vía intercambio de potencias de interferencia. Algunas de las explicaciones a continuación se relacionan con un sistema con dos estaciones de base y dos dispositivos inalámbricos, no obstante, la aplicabilidad del concepto propuesto no se limita a tal sistema y también se puede aplicar a un número arbitrario de estaciones de base y dispositivos inalámbricos.

[0039] La figura 2 muestra un ejemplo general para una tasa de suma entre dos estaciones de base y dos dispositivos inalámbricos con una indicación de las potencias de señal S_1, S_2 (fuerza de señal) y las potencias de interferencia I_1, I_2 (fuerza de interferencia) de las dos estaciones de base BS1, BS2. En lo siguiente, las potencias de señal S_1, S_2 y el parámetro de fuerza de señal b_i pueden ser cantidades iguales, las potencias de interferencia I_1, I_2 y el parámetro de fuerza de interferencia a_i pueden ser cantidades iguales y los formadores de haz b_1, b_2 y los vectores de precodificación p_1, p_2 pueden ser cantidades iguales.

[0040] Una maximización directa de la función objetivo principal (véase ecuación 2) se propone, suponiendo que los BS pueden intercambiar información de precodificador (esta suposición se relajará posteriormente). Para este fin, la ecuación 2 se reescribe como:

$$\begin{aligned} C &= \log_2 ((1 + SINR_1) (1 + SINR_2)) \\ &= \log_2 (1 + SINR_1 + SINR_2 + SINR_1 SINR_2) \quad (6) \\ &= \log_2 (1 + \overline{SINR}), \end{aligned}$$

en donde \overline{SINR} es el SINR equivalente de un sistema de usuario único de célula única que obtiene la misma tasa (por ejemplo un parámetro común de señal respecto a ruido de interferencia posible). Dado que la función logarítmica es monótonica, la ecuación 6 maximizante es equivalente para maximizar su argumento. Por lo tanto, el problema de encontrar precodificadores óptimos es $(p_1, p_2)_{opt}$ se puede formular como sigue:

$$(p_1, p_2)_{opt} = \underset{(p_1, p_2)}{\operatorname{argmax}} \overline{SINR} \quad \text{s.t.} \quad p_i^H p_i = E_{tx_i}, \quad i = 1, 2. \quad (7)$$

[0041] Cada término de \overline{SINR} (por ejemplo un posible parámetro común de señal respecto a ruido de interferencia) contiene las expresiones de p_1 y p_2 , lo que vuelve a la estructura del problema complicada. Por lo tanto, las expresiones de forma cerrada para los precodificadores óptimos pueden no estar disponible. Por lo tanto, se puede seguir un enfoque de optimización alternativo para encontrar valores de precodificador (sub) óptimos. Suponiendo que BS i busca encontrar su precodificador óptimo p_i dado el conocimiento del precodificador de BS j , p_j . En primer lugar, $SINR_i$ y $SINR_j$ se reescriben como

$$\begin{aligned} \text{SINR}_i &= \frac{\mathbf{p}_i^H \mathbf{h}_{ii}^* \mathbf{h}_{ii}^T \mathbf{p}_i}{|\mathbf{h}_{ij}^T \mathbf{p}_j|^2 + \sigma_i^2} \\ \text{SINR}_j &= \frac{|\mathbf{h}_{jj}^T \mathbf{p}_j|^2}{\mathbf{p}_i^H \mathbf{h}_{ji}^* \mathbf{h}_{ji}^T \mathbf{p}_i + \sigma_j^2}, \end{aligned} \quad (8)$$

y se definen los escalares a_i y b_i como

$$\begin{aligned} a_i &= |\mathbf{h}_{ij}^T \mathbf{p}_j|^2 + \sigma_i^2 \\ b_i &= |\mathbf{h}_{jj}^T \mathbf{p}_j|^2. \end{aligned} \quad (9)$$

a_i y b_i representan la potencia de interferencia más ruido presente en el receptor i y la potencia de señal útil del receptor j , respectivamente, la cual se conoce y se fija para cierto valor de p_j . Utilizando estas cantidades, la ecuación 8 se puede reescribir como

$$\begin{aligned} \text{SINR}_i &= \frac{\mathbf{p}_i^H \mathbf{h}_{ii}^* \mathbf{h}_{ii}^T \mathbf{p}_i}{a_i} = \mathbf{p}_i^H \mathbf{A}_i \mathbf{p}_i \\ \text{SINR}_j &= \frac{b_i}{\mathbf{p}_i^H \mathbf{h}_{ji}^* \mathbf{h}_{ji}^T \mathbf{p}_i + \sigma_j^2} = \frac{1}{\mathbf{p}_i^H \mathbf{B}_i \mathbf{p}_i}, \end{aligned} \quad (10)$$

en donde \mathbf{A}_i y \mathbf{B}_i son matrices definidas

$$\begin{aligned} \mathbf{A}_i &= \frac{\mathbf{h}_{ii}^* \mathbf{h}_{ii}^T}{a_i} \\ \mathbf{B}_i &= \frac{\mathbf{h}_{ji}^* \mathbf{h}_{ji}^T + \frac{\sigma_j^2}{E_{tx_j}} \mathbf{I}_M}{b_i}, \end{aligned} \quad (11)$$

en donde la igualdad $\mathbf{p}_i^H \mathbf{p}_i = E_{tx_i}$ ha sido utilizada para obtener la expresión para \mathbf{B}_i e \mathbf{I}_M es la matriz de identidad de tamaño M .

[0042] Después, se puede observar fácilmente que la función objetivo $\overline{\text{SINR}}$ de la ecuación 7 se puede resolver únicamente escrita en términos del precodificador \mathbf{p}_i , como sigue:

$$\begin{aligned} \overline{\text{SINR}} &= \mathbf{p}_i^H \mathbf{A}_i \mathbf{p}_i + \frac{1}{\mathbf{p}_i^H \mathbf{B}_i \mathbf{p}_i} + \frac{\mathbf{p}_i^H \mathbf{A}_i \mathbf{p}_i}{\mathbf{p}_i^H \mathbf{B}_i \mathbf{p}_i} \\ &= \frac{\mathbf{p}_i^H \mathbf{A}_i \mathbf{p}_i \mathbf{p}_i^H \mathbf{B}_i \mathbf{p}_i + 1 + \mathbf{p}_i^H \mathbf{A}_i \mathbf{p}_i}{\mathbf{p}_i^H \mathbf{B}_i \mathbf{p}_i} \\ &= \frac{\mathbf{p}_i^H (\mathbf{A}_i \mathbf{p}_i \mathbf{p}_i^H \mathbf{B}_i + \frac{1}{E_{tx_i}} \mathbf{I}_M + \mathbf{A}_i) \mathbf{p}_i}{\mathbf{p}_i^H \mathbf{B}_i \mathbf{p}_i} \\ &= \frac{\mathbf{p}_i^H \mathbf{D}_i \mathbf{p}_i}{\mathbf{p}_i^H \mathbf{B}_i \mathbf{p}_i}, \end{aligned} \quad (12)$$

en donde la matriz definida positiva D_i está definida de manera implícita. Esto tiene una apariencia similar a un cociente de Rayleigh, cuyo valor maximizante está proporcionado por el vector propio (eigenvector) generalizado que corresponde al valor propio (eigenvalue) generalizado máximo (GEV) de las matrices D_i y B_i . No obstante, D_i en si misma es una función de p_i y esto evita el uso del enfoque GEV. En lo siguiente se proponen dos enfoques que

5 simplifican \overline{SINR} y proporcionan soluciones factibles al problema a mano. Ambos enfoques se relacionan con una unión menor de la función objetivo (por ejemplo un parámetro común de señal respecto a ruido de interferencia). Nótese que

$$\begin{aligned}
 \mathbf{p}_i^H \mathbf{B}_i \mathbf{p}_i &= \frac{\mathbf{p}_i^H \mathbf{h}_{ji}^* \mathbf{h}_{ji}^T \mathbf{p}_i + \sigma_j^2}{b_i} \\
 &= \frac{|\mathbf{h}_{ji}^T \mathbf{p}_i|^2}{b_i} + \frac{\sigma_j^2}{b_i} \\
 &\geq \frac{\sigma_j^2}{b_i}
 \end{aligned}
 \tag{13}$$

con igualdad si p_i es una solución que se obliga a ser cero, esto permite disminuir la unión \overline{SINR} (por ejemplo, un parámetro común posible de señal respecto a ruido de interferencia, como:

$$\begin{aligned}
 \overline{SINR} &= \frac{\mathbf{p}_i^H \mathbf{A}_i \mathbf{p}_i \mathbf{p}_i^H \mathbf{B}_i \mathbf{p}_i + 1 + \mathbf{p}_i^H \mathbf{A}_i \mathbf{p}_i}{\mathbf{p}_i^H \mathbf{B}_i \mathbf{p}_i} \\
 &\geq \frac{\mathbf{p}_i^H \left(\frac{\sigma_j^2}{b_i} \mathbf{A}_i + \frac{1}{E_{tx_i}} \mathbf{I}_M + \mathbf{A}_i \right) \mathbf{p}_i}{\mathbf{p}_i^H \mathbf{B}_i \mathbf{p}_i} \\
 &= \frac{\mathbf{p}_i^H \left(\left(1 + \frac{\sigma_j^2}{b_i}\right) \mathbf{A}_i + \frac{1}{E_{tx_i}} \mathbf{I}_M \right) \mathbf{p}_i}{\mathbf{p}_i^H \mathbf{B}_i \mathbf{p}_i} \\
 &= \frac{\mathbf{p}_i^H \mathbf{D}_{bajo, i} \mathbf{p}_i}{\mathbf{p}_i^H \mathbf{B}_i \mathbf{p}_i} \\
 &= \overline{SINR}_{bajo,}
 \end{aligned}
 \tag{14}$$

en donde la matriz definida positiva $D_{bajo, i}$ se define de manera implícita. Nótese que esta matriz es independiente de p_i ; por lo tanto, la solución GEV se puede utilizar para resolver el problema. El problema principal ha sido cambiado

45 puesto que \overline{SINR}_{bajo} -una unión inferior para \overline{SINR} - se maximiza en vez de maximizar directamente \overline{SINR} . Esta unión menor depende de b_i ; por lo tanto es variable y cambia con cada repetición. El valor p_i óptimo se puede encontrar como el vector propio generalizado que corresponde al valor propio generalizado máximo λ_{max} de las matrices $D_{bajo, i}$ y B_i :

$$D_{bajo, i} \mathbf{p}_{i, opt} = \lambda_{max} \mathbf{B}_i \mathbf{p}_{i, opt}.
 \tag{15}$$

[0043] Habiendo encontrado $p_{i, opt}$, BS j ahora utiliza este valor actualizado para encontrar $p_{j, opt}$, utilizando el mismo procedimiento que en lo anterior y esto se repite hasta convergencia. Los detalles de este procedimiento se

55 presentan en el siguiente algoritmo.

Algoritmo 1 Maximización de unión inferior en la tasa de suma de sistema

```

5   $\mathbf{p}_1 \leftarrow \mathbf{p}_{1,\text{noncoop}}, \mathbf{p}_2 \leftarrow \mathbf{p}_{2,\text{noncoop}}$ 
    $C_{\text{viejo}} \leftarrow C(\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2)$  [cf. (2) y (3)]
   para  $iter = 1 : \text{max\_nb\_iterations}$  realizar
     para  $i = 1, 2$  realizar
        $j \leftarrow 3 - i$ 
10      calcular  $a_i = f(\mathbf{p}_j), b_i = f(\mathbf{p}_j), \mathbf{A}_i = f(a_i), \mathbf{B}_i = f(b_i)$  y  $N_{\text{bajo},i}$ 
       actualizar  $\mathbf{p}_i$  [cf. (15)]
       finalizar para
15      calcular  $C_{\text{nuevo}} \leftarrow C(\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2)$ 
       si  $\frac{C_{\text{nuevo}} - C_{\text{viejo}}}{C_{\text{viejo}}} < \epsilon$  entonces
         descomponer
         de otra manera  $C_{\text{viejo}} \leftarrow C_{\text{nuevo}}$ 
20      finalizar si
   finalizar para

```

[0044] El algoritmo comienza con valores iniciales $\mathbf{p}_{1,\text{noncoop}}$ y $\mathbf{p}_{2,\text{noncoop}}$, los cuales representan los valores de precodificador en caso de que no se lleve a cabo cooperación; es decir, cada BS intenta maximizar su propia tasa de suma independientemente de las otras BS. En el circuito principal, los valores nuevos de \mathbf{p}_1 y \mathbf{p}_2 se calculan de acuerdo con el enfoque propuesto en cada repetición. El algoritmo se lleva a cabo para un máximo de max_nb_iterations repeticiones si la convergencia aún no se ha alcanzado y la variable ϵ puede establecerse de acuerdo con la precisión de convergencia deseada.

[0045] El problema con $\overline{\text{SINR}}$ es que el término $\mathbf{p}_i^H \mathbf{A}_i \mathbf{p}_i \mathbf{p}_i^H \mathbf{B}_i \mathbf{p}_i$, el cual evita obtener una solución analítica conocida. En la solución previa, este término se une en la parte inferior, transformándolo a un problema valorado de segundo orden en donde se pueden obtener soluciones factibles. Supóngase que \mathbf{p}_i^n indica la solución precodificadora obtenida después de la n -ésima repetición y supóngase que \mathbf{p}_i^{n+1} es lo que ahora se busca. Otra manera posible de calcular sería \mathbf{p}_i^{n+1} sería aproximar $\mathbf{p}_i^{H,n+1} \mathbf{A}_i \mathbf{p}_i^{n+1} \mathbf{p}_i^{H,n+1} \mathbf{B}_i \mathbf{p}_i^{n+1}$ ya sea con $\mathbf{p}_i^{H,n} \mathbf{A}_i \mathbf{p}_i^n \mathbf{p}_i^{H,n+1} \mathbf{B}_i \mathbf{p}_i^{n+1}$ o con $\mathbf{p}_i^{H,n+1} \mathbf{A}_i \mathbf{p}_i^{n+1} \mathbf{p}_i^{H,n} \mathbf{B}_i \mathbf{p}_i^n$. Por ejemplo, el primer enfoque se considera y nótese que \mathbf{p}_i^n está dado, esto implica que $\mathbf{p}_i^{H,n} \mathbf{A}_i \mathbf{p}_i^n$ ahora es constante. Efectivamente, en realidad podemos ahora no tomar en cuenta el término SINR_i (véase la ecuación 11 y 12) y resolver el siguiente subproblema:

$$\mathbf{p}_{i,\text{opt}} = \underset{\mathbf{p}_i}{\text{argmax}} \underbrace{\text{SINR}_j + \text{SINR}_i \text{SINR}_j}_{\overline{\text{SINR}'}} \quad \text{s.t.} \quad \mathbf{p}_i^H \mathbf{p}_i = E_{\text{tx}_i}. \quad (16)$$

[0046] Nótese que $\overline{\text{SINR}'}$ (por ejemplo, una posible señal común para parámetro de ruido de interferencia) es en realidad otro enlace inferior para $\overline{\text{SINR}}$. La nueva función objetivo se puede describir como

$$\begin{aligned} \overline{\text{SINR}'} &= \frac{1}{\mathbf{p}_i^H \mathbf{B}_i \mathbf{p}_i} + \frac{\mathbf{p}_i^H \mathbf{A}_i \mathbf{p}_i}{\mathbf{p}_i^H \mathbf{B}_i \mathbf{p}_i} \\ &= \frac{\mathbf{p}_i^H (\mathbf{A}_i + \frac{1}{E_{\text{tx}_i}} \mathbf{I}_M) \mathbf{p}_i}{\mathbf{p}_i^H \mathbf{B}_i \mathbf{p}_i} \\ &= \frac{\mathbf{p}_i^H \mathbf{D}_i \mathbf{p}_i}{\mathbf{p}_i^H \mathbf{B}_i \mathbf{p}_i}, \end{aligned} \quad (17)$$

en donde se omite por sencillez el índice de repetición. Puesto que \mathbf{D}_i es definido positivo, entonces $\mathbf{p}_{i,\text{opt}}$ está dado por el vector propio generalizado correspondiente al valor propio máximo de las matrices \mathbf{D}_i y \mathbf{B}_i . Comparando la matriz $\mathbf{D}_{\text{bajo},i}$ de la solución previa con \mathbf{D}_i , se puede observar que la única diferencia se encuentra en el término adicional $\frac{\sigma_j^2}{b_i} \mathbf{A}_i$ presente en $\mathbf{D}_{\text{bajo},i}$. A una SNR (relación señal a ruido) alta, $\sigma_j^2 \rightarrow 0$ y en consecuencia, $\mathbf{D}_{\text{bajo},i} \rightarrow$

D'_i ; por lo tanto, los dos enfoques se espera que proporcionen soluciones similares.

[0047] La implementación del algoritmo propuesto puede requerir el conocimiento de las ganancias de canal $h_{ki} \forall k = 1, 2$ en BS i . Además, necesitan estar disponibles cantidades escalares a_i y b_i . Estos escalares dependen de p_j (véase la ecuación 9); por lo tanto se pueden calcular en BS j y se pueden comunicar de regreso BS i en vez de comunicarse directamente a p_j , lo que genera una sobrecarga de señalización reducida. Una diferencia básica entre la solución propuesta y las soluciones del estado de la técnica -además de la función de optimización seleccionadas en la información que se cambia entre las BS: la información de precio cambia en el estado de la técnica mientras que las potencias de interferencia cambia en la solución propuesta $a_i \forall i$ (véase ecuación 9), suponiendo un sistema descentralizado. En comparación con la solución del estado de la técnica, se requiere un cambio de un escalar adicional - b_i - entre las BS, lo que resulta en sobrecarga de señalización adicional entre las BS pero no se requiere procesamiento en el receptor (cálculo de los precios de interferencia). Además, los precios de interferencia necesitan ser retroalimentados desde el lado del receptor al lado BS primero, lo que resulta en sobrecarga adicional entre los receptores y BS para las soluciones del estado de la técnica. Esta sobrecarga reduce el ancho de banda disponible para transmisión.

[0048] La figura 3 muestra la señalización que se requiere para el procedimiento propuesto. La fase de inicialización comienza con símbolos piloto enviados a los receptores, los cuales calculan sus canales y los envían de regreso (la primera información de estado de canal, por ejemplo la entrada de libro de registro y el indicador de calidad de canal, la figura 3 muestra los parámetros $h_{11}, h_{12}, \sigma_1^2$ derivados por la estación de base a partir de la información de estado de canal) a las BS correspondiente junto con sus potencias de ruido calculadas (esta suposición se relajará posteriormente). Después, las BS intercambian la información necesaria (por ejemplo información de ganancia de canal h_{ij} y ruido σ_i^2) antes de que se inicie el algoritmo. Después de convergencia, puede iniciarse la transmisión de datos. Para un sistema de dos células, la sobrecarga de señalización total es idéntica (similar). Utilizando la solución del estado de la técnica, el escalar de precio se retroalimenta a las BS correspondientes, las cuales lo comunican a las BS de interferencia lo que resulta en señalización de dos valores escalares, como se muestra en la figura 15 (sin tomar en consideración la señalización de canal por ahora). El enfoque propuesto intercambia directamente los dos valores escalares a_i y b_i entre las BS (se puede suponer de manera segura que la densidad de potencia de ruido es similar para los diferentes receptores en el sistema; por lo tanto las potencias de ruido no necesitan ser retroalimentadas desde los receptores a las BS después de que se han intercambiado entre las BS). La señalización dedicada para los canales también es idéntica, como se muestra en ambas figuras. Nótese que la retroalimentación de los precios de interferencia se realiza vía un enlace aéreo, el cual es menos confiable; por lo tanto, cualquier imprecisión pequeña en los valores de retroalimentación puede tener un gran efecto sobre las soluciones obtenidas en el estado de la técnica. Por otra parte, el intercambio de escalares utilizando el procedimiento propuesto se realiza por medio de enlaces de fibra (en donde el ancho de banda no es una preocupación) y es más confiable. Esta discusión supone que no hay cuantificación: en ese caso, será difícil saber cual procedimiento tiene menos señalización dado que esto depende de los tamaños del libro de registro tanto de los precodificadores como de los precios de interferencia. Finalmente, como se puede ver de los diagramas, las repeticiones utilizando el esquema propuesto pueden no necesitar información de retroalimentación alguna de los receptores y únicamente se intercambia información entre las BS, en contraste con el procedimiento del estado de la técnica en donde la información de precio actualizada π_1 y π_2 necesita ser retroalimentada desde los receptores en cada repetición. Esto vuelve al algoritmo propuesto adecuado para sistemas centralizados, por ejemplo.

[0049] Como se proporcionará posteriormente en los resultados de simulación, el algoritmo propuesto tiene una velocidad de convergencia muy rápida. Esto resulta en una gran disminución en la potencia computacional requerida y es económicamente deseable. Además, el algoritmo propuesto también es adecuado para sistemas descentralizados con canales que varían rápido, debido a que únicamente se requiere señalización limitada, tomando en consideración que cada repetición requiere una fase de señalización. Las soluciones del estado de la técnica requieren muchas repeticiones y por lo tanto mucha señalización.

[0050] La figura 4 muestra un diagrama de flujo de un procedimiento 400 para determinar un vector de precodificación para precodificar datos que van a ser transmitidos a un dispositivo inalámbrico de acuerdo con una modalidad de la invención. Este ejemplo es similar al algoritmo 1 descrito en lo anterior e indica la cooperación de dos estaciones de base de acuerdo con el concepto descrito.

[0051] En este ejemplo, la primera estación de base comienza al calcular inicialmente un vector de precodificación $b_1(p_1)$ y calcula un primer parámetro de fuerza de señal $I_1(b_1)$ y un primer parámetro de fuerza de interferencia $S_1(a_1)$ (lo cual se realiza por la segunda estación de base en el ejemplo mostrado en la figura 1 y descrito por la descripción correspondiente) y lo señala a la segunda estación de base BS2 (la cual es la primera estación de base mostrada en la figura 1). Después la segunda estación de base BS2 (la primera estación de base en la figura 1) maximiza un parámetro de relación común de señal respecto a ruido de interferencia para encontrar un vector precodificante óptimo $b_2(p_2)$ en base en el primer parámetro de fuerza de señal I_1 y el primer parámetro de fuerza de interferencia S_1 . Además, calcula un segundo parámetro de fuerza de señal $I_2(b_2)$ y un segundo parámetro de fuerza de interferencia $S_2(a_2)$ y los señala a la primera estación de base BS1 (la segunda estación de base en el ejemplo de la figura 1).

[0052] Después, la estación de base BS1 (la segunda estación de base en el ejemplo de la figura 1) maximiza el parámetro de relación común de señal respecto a ruido de interferencia en base en el segundo parámetro de fuerza de señal I_2 y el segundo parámetro de fuerza de interferencia S_2 para encontrar un vector de precodificación óptimo b_1 . Además, calcula un tercer parámetro de fuerza de señal I_1 (b_1) y un tercer parámetro de fuerza de interferencia S_1 (a_1) y los señala a la segunda estación de base BS2 (la cual es la primera estación de base en el ejemplo de la figura 1).

[0053] Si el nuevo vector de precodificación satisface un criterio de interrupción predefinido $\frac{C_{nuevo} - C_{viejo}}{C_{viejo}} < \epsilon$ o

se alcanza un número máximo de repeticiones, el algoritmo se detiene y los vectores de precodificación calculados al final en la primera estación de base y en la segunda estación de base se utilizan para precodificar datos que van a ser transmitidos a los dispositivos inalámbricos.

[0054] La recepción de la primera información de estado de canal del dispositivo inalámbrico en la estación de base así como la recepción de la primera información de ganancia de canal no se ilustran en este algoritmo esquemático, aunque estas etapas también se realizan.

[0055] Mediante la utilización de este enfoque repetitivo, la tasa de suma para transmitir datos a los dispositivos inalámbricos se puede optimizar de manera repetitiva sin que se requiera información adicional de los dispositivos inalámbricos (tal como por ejemplo, los precios de interferencia por conceptos conocidos) de manera que se puede mantener baja la señalización inalámbrica necesaria. No obstante, las tasas inalámbricas (es decir, las tasas asequibles de diferentes usuarios) son mayores cuando se comparan con los esquemas existentes.

[0056] La ilustración del algoritmo en la figura 4 es equivalente al algoritmo que se ilustra en la figura 3. Únicamente los índices son ligeramente diferentes. Por ejemplo, el vector de precodificación está indicado por b_i en vez de p_i , el parámetro de fuerza de señal (o parámetro de potencia de señal) por S_i en vez de a_i y el parámetro de fuerza de interferencia (o parámetro de potencia de interferencia) por I_i en vez de b_i .

[0057] Además, la figura 5 muestra una ilustración esquemática de dos células de un sistema de comunicación inalámbrico con estaciones de base que provoca interferencia para usuarios de borde de célula en las otras células y la señalización del parámetro de fuerza de interferencia I_1, I_2 durante la fase de señalización en cada repetición. Esto se realiza a través de un enlace cableado entre las estaciones de base de manera que se puede reducir la comunicación de enlace aéreo.

[0058] Se ilustra el esquema de señalización nuevo el cual puede permitir que las estaciones de base calculen la potencia I de interferencia causada por sí misma. De esta manera, las estaciones de base pueden ser capaces de maximizar C de modo cooperativo vía el intercambio de potencia de interferencia:

$$C = \log(1 + \text{SINR}_1) + \log(1 + \text{SINR}_2) = f(I_1, I_2).$$

[0059] Que corresponde al algoritmo que se muestra en la figura 4 y la ilustración esquemática del escenario de 2 células en la figura 5, la figura 6 muestra una ilustración esquemática (diagrama de señalización) de los canales y los datos que van a ser intercambiados entre las dos estaciones de base y dos dispositivos inalámbricos, cuando se utiliza el concepto propuesto. Al señalar inicialmente la información de estado de canal desde los dispositivos inalámbricos a las estaciones de base, las estaciones de base pueden calcular información de ganancia de canal para los diferentes canales entre las estaciones de base y los dispositivos inalámbricos. Posteriormente, durante la fase de señalización en cada repetición, únicamente se puede requerir un enlace cableado entre las estaciones de base de manera que se puede reducir en cada repetición la comunicación (datos) de enlace aéreo (necesarios).

[0060] Los resultados de la simulación se promedian en 5000 realizaciones de canal independientes y distribuidas de manera idéntica (IID) con una media 0 y una matriz de covarianza I para los enlaces directo y de interferencia. Esto captura el desempeño en el borde de la célula, en donde un usuario padece de interferencia tan fuerte como la señal útil. La potencia de transmisión E_{Tx_i} es establecida en 1, $\forall i$, $M = 2$ antenas se utilizan en cada BS. La figura compara ambos enfoques propuestos (unión inferior) en donde los enfoques se refieren al procedimiento con $\overline{\text{SINR}}$ y se refieren al procedimiento con $\overline{\text{SINR}}'$, respectivamente. El procedimiento el cual maximice la unión inferior funciona ligeramente mejor a bajo SNR, en donde ambos procedimientos proporcionan soluciones similares conforme se incrementa SNR, como se espera. Uno del enfoque unido inferior se utiliza en las simulaciones subsecuentes. La figura 8 compara la solución propuesta con la solución de determinación de precio distribuida. Para bajo SNR, el enfoque de determinación de precio distribuido funciona ligeramente mejor. El enfoque propuesto supera al enfoque distribuido comenzando con un SNR ~ 12 dB. El enfoque propuesto obtiene ganancias deficiencia espectral significativa (y subsecuentemente de tasa) con incremento en SNR.

[0061] La figura 9 muestra el número de repeticiones que se requieren por la solución propuesta y la solución de determinación de precios distribuida para alcanzar convergencia. Como se puede observar de la gráfica, el esquema

propuesto converge de manera más o menos directa después de la primera repetición, y las repeticiones subsecuentes únicamente proporcionan mejoras despreciables. La solución de determinación de precio distribuido requiere un número mayor de repeticiones para converger. Esto se debe al hecho de que el esquema propuesto en este ejemplo maximiza directamente una unión inferior de la suma de las tasas de usuario de borde de célula mientras que la solución distribuida maximiza las diferentes funciones objetivo por separado y esto vuelven la convergencia más lenta.

[0062] La figura 10 muestra un diagrama de bloques de un aparato 1000 para determinar un vector de precodificación $p_{i,opt}$ para precodificar datos que van a ser transmitidos a un dispositivo inalámbrico en un sistema de comunicación inalámbrico de acuerdo con una modalidad de la invención.

[0063] El aparato 1000 comprende un receptor 1010 inalámbrico, un receptor 1020 de línea cableada y un procesador 1030. El receptor 1010 inalámbrico y el receptor 1020 de línea cableada se conectan al procesador 1030. El receptor 1010 inalámbrico está configurado para recibir una primera información 1002 de estado de canal de un canal entre un primer dispositivo inalámbrico y una primera estación de base en un sistema de comunicación inalámbrico. La primera información 1002 de estado de canal es recibida por la primera estación de base desde el primer dispositivo inalámbrico. El receptor 1020 de línea cableada está configurado para recibir una primera información de ganancia de canal h_{21} de un canal entre el segundo dispositivo inalámbrico y la primera estación de base. La primera información de ganancia de canal h_{21} se recibe desde la segunda estación de base. Además, el receptor de línea cableada 1020 está configurado para recibir un primer parámetro de fuerza de señal b_i desde la segunda estación de base indicando una fuerza de señal en el segundo dispositivo inalámbrico causada por la segunda estación de base. El receptor 1020 de línea cableada se configura adicionalmente para recibir un primer parámetro de fuerza de interferencia a_i desde la segunda estación de base indicando una fuerza de interferencia en el primer dispositivo inalámbrico causada por la segunda estación de base. El procesador 1030 está configurado para obtener un vector de precodificación $p_{i,opt}$ para precodificar datos que van a ser transmitidos al primer dispositivo inalámbrico al maximizar un parámetro de relación común de señal respecto a ruido de interferencia C , \overline{SINR} , \overline{SINR}_{bajo} , \overline{SINR}' . El parámetro de relación común de señal respecto al ruido de interferencia depende de una relación de señal respecto a ruido de interferencia en el primer dispositivo inalámbrico y una relación de señal respecto a ruido de interferencia en el segundo dispositivo inalámbrico y se basa en la primera información 1002 de estado de canal, la primera información h_{21} de ganancia de canal, el primer parámetro de fuerza de señal b_i y el primer parámetro de fuerza de interferencia a_i .

[0064] El aparato 1000 o los componentes del aparato 1000 pueden comprender una o más características o unidades adicionales que realicen uno o más aspectos del concepto descrito antes.

[0065] Por ejemplo, el aparato 1000 puede comprender un precodificador para precodificar datos que van a ser transmitidos al dispositivo inalámbrico. Además, el aparato 1000 puede comprender un transmisor para transmitir los datos precodificados al dispositivo inalámbrico.

[0066] El receptor 1010 inalámbrico, el receptor 1020 de línea cableada, el procesador 1030 y/u otras unidades operacionales del aparato 1000 pueden ser unidades de hardware independiente o parte de una computadora, un microcontrolador o un procesador de señal digital así como un programa de computadora o un producto de software para que funcione en una computadora, un microcontrolador o un procesador de señal digital.

[0067] Algunas modalidades de la invención se relacionan con una estación de base que comprende un aparato para determinar un vector de precodificación como se describe en lo anterior. Para esto, la unidad receptora inalámbrica ya existente, la unidad receptora de línea cableada y el procesador de la estación de base se pueden utilizar. Además, el precodificador y/o el transmisor de la estación de base se pueden utilizar.

[0068] La implementación del concepto descrito en una pluralidad de estaciones de base puede habilitar una optimización cooperativa de los vectores de precodificación utilizados en las diferentes estaciones de base para obtener una tasa de suma máxima para la pluralidad de estaciones de base y los dispositivos inalámbricos suministrados.

[0069] Algunas modalidades de la invención se relacionan con una maximización de tasa cooperativa en base en el intercambio de estación de base de potencias (de interferencia). El nuevo procedimiento se puede basar en una optimización de la suma de las tasas de usuario de borde de célula para el escenario de dos células suponiendo la cooperación de estación de base. La BS coopera para maximizar la tasa total, en comparación con los procedimientos egoístas del estado de la técnica en donde cada BS de manera egoísta maximiza su propia tasa. La tasa total se formula primero en términos de formadores de haces de estación de base y los formadores de haces óptimos se encuentran de manera repetitiva como sigue. En cada repetición se optimiza un formador de haz (por ejemplo, el formador de haz de BS1) para maximizar una unión inferior en la tasa total proporcionada por el conocimiento de otro formador de haz el cual es intercambiado (por ejemplo, de BS2). De hecho, el conocimiento del formador de haz no se requiere dado que únicamente necesitan intercambiarse los niveles de potencia. Después, BS2 utiliza la información de nivel de potencia actualizada comunicada por BS 1 para calcular su propio formador de

haz. Esto se repite hasta convergencia. En comparación con el enfoque distribuido, puede ser necesario un escalonamiento adicional que se comunica con cada otra de BS. No obstante, utilizando los procedimientos del estado de la técnica, los precios de interferencia necesitan primero retroalimentarse desde los receptores a las BS correspondientes a través de un enlace aéreo. El enlace aéreo es menos confiable; y por lo tanto, cualquier pequeña imprecisión en los precios de interferencia de retroalimentación puede tener un efecto grande en las soluciones obtenidas del estado de la técnica. Esto también reduce el ancho de banda para transmisión de datos sobre el enlace aéreo. Algunos de los ejemplos descritos en lo anterior se basan en un escenario de entrada múltiple y salida única (MISO), no obstante, la extensión a los escenarios MIMO es directa. Además, la extensión a escenarios de células múltiples es posible, por ejemplo, ya sea mediante selección cuidadosa de los subconjuntos de dos células en el sistema o en el contexto de CoMP dentro del sitio, en donde la cooperación se basa en un escenario de 3 células.

[0070] Por ejemplo, el procedimiento propuesto obtiene tasas más altas de usuarios de borde de célula en intervalos de SNR medio a alto. La convergencia rápida del esquema propuesto resulta en menos potencia computacional lo cual es económicamente deseable. El esquema propuesto requiere menos señalización entre las BS y los receptores a costa de una señalización ligeramente adicional entre las BS. No requiere procesamiento en el lado del receptor; y por lo tanto se pueden utilizar receptores sencillos. Además, el algoritmo propuesto también es adecuado para descentralizar sistemas con canales que varían rápido, debido a que se requiere solo señalización limitada, tomando en consideración que cada repetición nueva requiere señalización nueva.

[0071] En otras palabras, se propone un procedimiento repetitivo nuevo con el fin de obtener tasas mayores en redes celulares, específicamente para usuario de borde de célula los cuales padecen de alta interferencia. La solución que se propone intenta mitigar implícitamente la interferencia al maximizar la tasa combinada total de los usuarios; es un enfoque cooperativo. Los procedimientos actuales del estado de la técnica intentan suprimir directamente la interferencia o maximizar las tasas por separado para cada usuario, tales enfoques se denominan egoístas. Por ejemplo, el procedimiento nuevo es un esquema de punto múltiple coordinado (CoMP) en donde las estaciones de base intercambian de manera repetitiva información de potencia de interferencia, en contraste con otros procedimientos en donde la información de determinación de precio calculada en el lado receptor se intercambia (información limitada acerca de la cantidad de interferencia producida por cada estación de base). No se lleva a cabo procesamiento conjunto: es decir, las estaciones de base (las BS) únicamente cooperan para encontrar sus formadores de haz óptimos pero transmiten de manera independiente, cada una a su célula correspondiente.

[0072] Por ejemplo, el procedimiento propuesto obtiene tasas mayores para usuarios en el borde de la célula en relaciones de señal respecto a ruido (las SNR) medias a altas. El procedimiento que se propone requiere menos señalización entre los receptores y las BS a costa de una señalización ligeramente adicional entre las BS. La señalización entre los receptores y las BS se relaciona por medio de un enlace de aire y esto reduce el ancho de banda para transmisión de datos. Además, el enlace aéreo puede no ser confiable. Por otra parte, la señalización entre las BS se realiza por medio de un enlace de transmisión punto a punto (fibra), en donde el ancho de banda no es una preocupación y la señalización es mucho más confiable. Además, el esquema propuesto no requiere procesamiento en el lado receptor (cálculo de la información de determinación de precio). La rápida convergencia del esquema propuesto resulta en una potencia computacional menor en general. Una menor potencia computacional resulta en menos gastos operacionales en la estación de base y es económicamente deseable. Las tasas más altas en los bordes de célula resultan en ingresos aumentados, y en el caso en donde no se deseen tasas mayores, las mismas tasas se pueden obtener con menos potencia de transmisión, lo cual nuevamente ahorra costos de energía en las BS. El algoritmo que se propone es aplicable a sistemas centralizados así como descentralizados. Además, el algoritmo propuesto es adecuado para sistemas descentralizados con canales que varían rápido, debido a que se requiere únicamente señalización limitada, tomando en consideración que cada repetición nueva requiere señalización nueva. Las soluciones del estado de la técnica requieren muchas de las repeticiones y por lo tanto mucha señalización.

[0073] El concepto que se describe puede utilizarse en el campo de comunicación inalámbrica, tecnología de transmisión, transmisión CoMP (transmisión de punto múltiple coordinada) y/o redes celulares y puede ser aplicable a sistemas de usuarios celulares de entrada múltiple y salida múltiple (MIMO).

[0074] Se propone un procedimiento nuevo para maximizar la tasa de usuarios en el borde de célula en base en la cooperación de estación de base. La interferencia entre células (ICI) es un cuello de botella de un sistema el cual incide gravemente en el desempeño del sistema -especialmente para usuarios en el borde de células- y esto resulta en tasas asequibles más bajas. Existen muchos procedimientos en la literatura los cuales intentan mitigar la interferencia utilizando soluciones diferentes; algunos intentan suprimir directamente a la interferencia mientras que otros maximizan las tasas por separado para cada usuario, por lo tanto son enfoques egoístas. El esquema que se propone intenta de manera implícita mitigar las interferencias al maximizar la tasa combinada total de los usuarios de borde; por lo tanto, es una solución cooperativa. Se considera un escenario de dos células de entrada múltiple y salida única (MISO) con células de usuario únicas, en donde las estaciones de base (BS) de manera alternada intercambian información de potencia de interferencia con el fin de maximizar la unión inferior en la tasa total. Los resultados numéricos muestran mejoras de desempeño para relaciones de señal respecto a ruido (SNR) medias a altas sobre los procedimientos del estado de la técnica. Además, el esquema propuesto tiene una tasa de convergencia rápida lo que lo vuelve incluso más atractivo para sistemas que varían en tiempo, en donde se puede

obtener solo un número limitado de repeticiones.

[0075] En otras palabras, el concepto propuesto proporciona, por ejemplo, un algoritmo con conversiones rápidas, menos potencia de computación requerida y una baja complejidad computacional, menos procesamiento en el lado del receptor, una comunicación reducida en el enlace aéreo, una buena capacidad de adaptación para sistemas que varían rápido y/o también para contrarrestar complejidad y aumentada al disminuir la unión C (tasa de suma).

[0076] En comparación con conceptos conocidos, el esquema propuesto puede requerir más señalización entre las estaciones de base (vía enlace de transmisión punto a punto) pero significativamente menos señalización entre estaciones de base y receptores (vía enlace aéreo) y poco o nulo procesamiento en los receptores. Además, el concepto propuesto puede comprender una alta velocidad de convergencia, requiere poco esfuerzo computacional y comprende una buena adaptabilidad par escenarios que varían rápido, en comparación con conceptos conocidos.

[0077] Las tasas de borde de célula aumentados debido al concepto propuesto pueden provocar ingresos aumentados. Además, el menor esfuerzo de computación puede resultar en menos gastos operacionales en las estaciones de base.

[0078] Con conceptos conocidos, la tasa total del sistema no se puede optimizar mediante un diseño de formación de haz conjunto de estaciones de base cooperantes. En otras palabras, los procedimientos conocidos no optimizan la tasa total del sistema. En comparación, el procedimiento que se propone puede optimizar de manera repetitiva la tasa total de sistema sometida a medidas de potencia (por ejemplo fuerza de señal y fuerza de interferencia) desde las células aledañas (estaciones de base aledañas). Se pueden medir las potencias en la estación de base y se pueden intercambiar sobre la transmisión punto a punto (por repetición, sin que sea necesaria señalización sobre la vía aérea). Este concepto puede proporcionar un procedimiento para maximizar la tasa total del sistema de una manera eficiente de señalización.

[0079] Las soluciones conocidas son egoístas (sometidas a castigos). En comparación, el procedimiento propuesto puede mejorar el problema con un enfoque altruista (cooperativo). Cada estación de base intenta maximizar la tasa total (o suma de tasas de ambos usuarios) de una vez.

[0080] Puede ser un objetivo encontrar formadores de haz óptimos (vectores de precodificación) que maximicen la tasa total (por ejemplo, figura 2).

[0081] Dada S_2 e I_2 , la estación de base 1 BS1 puede encontrar un formador de haz óptimo b_1 que maximice C, por ejemplo. Esto se realiza de manera similar para la estación de base BS2. Puesto que los formadores de haz óptimos (y por lo tanto las cantidades S e I) no se conocen, el algoritmo puede comenzar con formadores de haces iniciales y repetir hasta convergencia. La complejidad aumentada se puede reducir al disminuir la unión C (la tasa de suma).

[0082] Algunas modalidades de acuerdo con la invención se relacionan con un procedimiento que tiene como objetivo maximizar las tasas de los usuarios de bordes de célula en redes celulares inalámbricas al resolver un problema de maximización de tasa total suponiendo cooperación de estación de base.

[0083] Opcionalmente, el procedimiento puede comprender además un procedimiento repetitivo basado en el intercambio de potencias (de interferencia) entre la estación de base con el fin de calcular los vectores formadores de haz óptimos.

[0084] De acuerdo con otro aspecto, el procedimiento de repetición se realiza de una manera distribuida sobre las estaciones de base, lo que requiere señalización sobre la transmisión punto a punto que conecta las estaciones de base.

[0085] De acuerdo con otro aspecto, un enlace inferior de la tasa total de los usuarios de borde de célula en vez de la tasa exacta se maximiza en cada repetición.

[0086] Aunque algunos aspectos del concepto descrito han sido descritos en el contexto de un aparato, es evidente que estos aspectos también representan una descripción del procedimiento correspondiente, en donde un bloque o dispositivo corresponde a una etapa de procedimiento o una característica de una etapa de procedimiento. De manera análoga, los aspectos descritos en el contexto de una etapa de procedimiento también representan una descripción de un bloque o inciso o característica correspondiente de un aparato correspondiente.

[0087] En base en ciertos requerimientos de implementación, las modalidades de la invención se pueden implementar en hardware o software. La implementación se puede realizar utilizando un medio de almacenamiento digital, por ejemplo un disco flexible, un DVD, un Blu-Ray, un CD, un ROM, un PROM, un EPROM, un EEPROM o una memoria FLASH que tiene señales de control legibles electrónicamente almacenadas en el mismo, el cual coopera (o son capaces de cooperar) con un sistema de computadora programable de manera que se realice el procedimiento respectivo. Por lo tanto, el medio de almacenamiento digital puede ser legible en computadora.

[0088] Algunas modalidades de acuerdo con la invención comprenden una portadora de datos que tiene señales de

control legibles electrónicamente, las cuales son capaces de cooperar con un sistema de computadora programable, de manera que uno de los procedimientos descritos en la presente se realice.

5 **[0089]** De manera general, las modalidades de la presente invención se pueden implementar como un producto de programas de computadora con un código de programa, el código de programa es operativo para realizar uno de los procedimientos cuando el producto de programa de computadora se ejecuta en una computadora. El código de programa puede almacenarse, por ejemplo, en un portador legible por una máquina.

10 **[0090]** Otras modalidades comprenden que el programa de computadora realice uno de los procedimientos descritos en la presente, almacenados en un portador legible en una máquina.

15 **[0091]** En otras palabras, una modalidad del procedimiento de la invención, por lo tanto, es un programa de computadora que tiene un código de programa para realizar uno de los procedimientos descritos en la presente, cuando el programa de computadora se ejecuta en una computadora.

20 **[0092]** Una modalidad adicional de los procedimientos de la invención, por lo tanto, es una portadora de datos (o un medio de almacenamiento digital o un medio legible en computadora) que comprende, grabado del mismo, el programa de computadora para realizar uno de los procedimientos descritos en la presente.

25 **[0093]** Una modalidad adicional del procedimiento de la invención, por lo tanto, es una corriente de datos o una secuencia de señales que representen el programa de computadora para realizar uno de los procedimientos descritos en la presente. La corriente de datos o la secuencia de señales se puede configurar, por ejemplo, para que se transfiera vía una conexión de comunicación de datos, por ejemplo, vía la internet.

30 **[0094]** Una modalidad adicional comprende un medio de procesamiento, por ejemplo una computadora o un dispositivo lógico programable, configurado o adaptado para realizar uno de los procedimientos descritos en la presente.

35 **[0095]** Una modalidad adicional comprende una computadora que tiene instalado en la misma un programa de computadora para realizar uno de los procedimientos descritos en la presente.

40 **[0096]** En algunas modalidades, se puede utilizar un dispositivo lógico programable (por ejemplo un arreglo de compuerta programable de campo) para realizar parte o la totalidad de las funcionalidades de los procedimientos descritos en la presente. En algunas modalidades, un arreglo de compuerta programable de campo puede cooperar con un microprocesador con el fin de realizar uno de los procedimientos descritos en la presente. Generalmente, los procedimientos preferiblemente se realizan por cualquier aparato de hardware.

45 **[0097]** Las modalidades descritas en lo anterior son simplemente ilustrativas de los principios de la presente invención. Se entiende que las modificaciones y variaciones de las distribuciones y detalles descritos en la presente serán evidentes para los expertos en el ámbito. Por lo tanto, el intento es limitar únicamente el alcance de las reivindicaciones de patente de impedimento y no por los detalles específicos presentados a modo de descripción y explicación de las modalidades en la presente.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento (100) para determinar un vector de precodificación ($p_{i,opt}$) para precodificar datos que van a ser transmitidos a un dispositivo inalámbrico en un sistema de comunicación inalámbrico, que comprende:
- 5 recibir (110) primera información de estado de canal de un canal entre un primer dispositivo inalámbrico y una primera estación de base en el sistema de comunicación inalámbrico, en donde la primera información de estado de canal es recibida por la primera estación de base desde el primer dispositivo inalámbrico;
- 10 recibir (120) primera información de ganancia de canal (h_{21}) de un canal entre un segundo dispositivo inalámbrico y la primera estación de base, en donde la primera información de ganancia de canal (h_{21}) es recibida desde una segunda estación de base;
- 15 recibir (130) un primer parámetro de fuerza de señal (b_i) desde la segunda estación de base indicando una fuerza de señal en el segundo dispositivo inalámbrico causada por la segunda estación de base;
- recibir (140) un primer parámetro de fuerza de interferencia (a_i) desde la segunda estación de base indicando una fuerza de interferencia en el primer dispositivo inalámbrico causada por la segunda estación de base; y
- 20 maximizar (150) un parámetro de relación común de señal respecto a ruido de interferencia ($C, \overline{SINR}, \overline{SINR}_{bajo}, \overline{SINR}^l$) para obtener un vector precodificante ($p_{i,opt}$) para precodificar datos que van a ser transmitidos al primer dispositivo inalámbrico, en donde el parámetro de relación común de señal respecto a ruido de interferencia ($C, \overline{SINR}, \overline{SINR}_{bajo}, \overline{SINR}^l$) dependen de una relación de señal respecto a ruido de interferencia ($SINR_1$) en el primer dispositivo inalámbrico y una relación de señal respecto a ruido de interferencia ($SINR_2$) en el segundo dispositivo inalámbrico y se basa en la primera información de estado de canal, la primera información de ganancia (h_{21}) de canal, el primer parámetro de fuerza de señal (b_i) y el primer parámetro de fuerza de interferencia (a_i).
- 25
2. Procedimiento como se describe en la reivindicación 1, que comprende además:
- 30 recibir segunda información de estado de canal de un canal entre el primer dispositivo inalámbrico y una segunda estación de base en el sistema de comunicación inalámbrico, en donde la segunda información de estado de canal se recibe por la primera estación de base desde el primer dispositivo inalámbrico;
- calcular una segunda información de ganancia de canal (h_{12}) del canal entre el primer dispositivo inalámbrico y la segunda estación de base, en base en la segunda información de estado de canal; y
- 35 transmitir la segunda información de ganancia de canal (h_{12}) a la segunda estación de base.
3. Procedimiento como se describe en la reivindicación 2, en donde la primera información de estado de canal y la segunda información de estado de canal se reciben a través de un canal inalámbrico desde el primer dispositivo inalámbrico, en donde la primera información de ganancia de canal (h_{21}), el primer parámetro de fuerza de señal (b_i) y el primer parámetro de fuerza de interferencia (a_i) se reciben a través de un canal de línea cableada desde la segunda estación de base.
- 40
4. Procedimiento como se describe en una de las reivindicaciones 1 a 3, que comprende además:
- 45 calcular un segundo parámetro de fuerza de señal (b_i), indicando una fuerza de señal en el primer dispositivo inalámbrico causada por la primera estación de base;
- 50 calcular un segundo parámetro de fuerza de interferencia (a_i) indicando una fuerza de interferencia en el segundo dispositivo inalámbrico causada por la primera estación de base; y
- transmitir el segundo parámetro de fuerza de señal (b_i) y el segundo parámetro de fuerza de interferencia (a_i) a la segunda estación de base.
- 55
5. Procedimiento como se describe en la reivindicación 4, que comprende además:
- 60 recibir un tercer parámetro de fuerza de señal (b_i) desde la segunda estación de base, en donde el tercer parámetro de fuerza de señal (b_i) se calcula por la segunda estación de base en base en el segundo parámetro de fuerza de señal transmitido (b_i) y el segundo parámetro de fuerza de interferencia transmitido (a_i), en donde el tercer parámetro de fuerza de señal (b_i) indica una fuerza de señal en el segundo dispositivo inalámbrico causada por la segunda estación de base bajo consideración del segundo parámetro de fuerza de señal transmitido (b_i) y el segundo parámetro de fuerza de interferencia transmitido (a_i);

recibir un tercer parámetro de fuerza de interferencia (a_i) desde la segunda estación de base, en donde el tercer parámetro de fuerza de interferencia (a_i) se calcula por la segunda estación de base, en base en el segundo parámetro de fuerza de señal transmitido (b_i) y el segundo parámetro de fuerza de interferencia (a_i), en donde el tercer parámetro de fuerza de interferencia (a_i) indica una fuerza de interferencia en el primer dispositivo inalámbrico causado por la segunda estación de base bajo consideración del segundo parámetro de fuerza de señal transmitido (b_i) y el segundo parámetro de fuerza de interferencia transmitido (a_i); y

maximizar el parámetro de relación común de señal respecto a ruido de interferencia (C , \overline{SINR} , $\overline{SINR}_{\text{bajo}}$, \overline{SINR}') para obtener un vector de precodificación nuevo ($p_{i,\text{opt}}$), en donde el parámetro de relación común de señal respecto a ruido de interferencia (C , \overline{SINR} , $\overline{SINR}_{\text{bajo}}$, \overline{SINR}') se basa en la primera información de estado de canal, la primera información de ganancia de canal (h_{21}), el tercer parámetro de fuerza de señal (b_i) y el tercer parámetro de fuerza de interferencia (a_i), de manera que el vector de precodificación ($p_{i,\text{opt}}$) es optimizado de manera repetitiva.

6. Procedimiento como se describe en una de las reivindicaciones 1 a 5, en donde el parámetro de relación común de señal respecto a ruido de interferencia (C , \overline{SINR} , $\overline{SINR}_{\text{bajo}}$, \overline{SINR}') representa una tasa de suma (C) del primer dispositivo inalámbrico y el segundo dispositivo inalámbrico, una relación común de señal respecto a ruido de interferencia (\overline{SINR}) en el primer dispositivo inalámbrico y en el segundo dispositivo inalámbrico o una unión menor de una relación común de señal respecto a ruido de interferencia ($\overline{SINR}_{\text{bajo}}$), en el primer dispositivo inalámbrico y el segundo dispositivo inalámbrico.

7. Procedimiento como se describe en la reivindicación 6, en donde la relación común de señal respecto a ruido de interferencia (\overline{SINR}) se define por

$$\overline{SINR} = SINR_1 + SINR_2 + SINR_1 SINR_2$$

en donde $SINR_1$ es una relación de señal respecto a ruido de interferencia en el primer dispositivo inalámbrico y $SINR_2$ es una relación de señal respecto a ruido de interferencia en el segundo dispositivo inalámbrico.

8. Procedimiento como se describe en la reivindicación 6, en donde la unión inferior de la relación común de señal respecto a ruido de interferencia ($\overline{SINR}_{\text{bajo}}$) se identifica por

$$\begin{aligned} \overline{SINR} &= \frac{\mathbf{p}_i^H \mathbf{A}_i \mathbf{p}_i \mathbf{p}_i^H \mathbf{B}_i \mathbf{p}_i + 1 + \mathbf{p}_i^H \mathbf{A}_i \mathbf{p}_i}{\mathbf{p}_i^H \mathbf{B}_i \mathbf{p}_i} \\ &\geq \frac{\mathbf{p}_i^H \left(\frac{\sigma_i^2}{b_i} \mathbf{A}_i + \frac{1}{E_{tx_i}} \mathbf{I}_M + \mathbf{A}_i \right) \mathbf{p}_i}{\mathbf{p}_i^H \mathbf{B}_i \mathbf{p}_i} \\ &= \frac{\mathbf{p}_i^H \left(\left(1 + \frac{\sigma_i^2}{b_i} \right) \mathbf{A}_i + \frac{1}{E_{tx_i}} \mathbf{I}_M \right) \mathbf{p}_i}{\mathbf{p}_i^H \mathbf{B}_i \mathbf{p}_i} \\ &= \frac{\mathbf{p}_i^H \mathbf{D}_{\text{bajo}, i} \mathbf{p}_i}{\mathbf{p}_i^H \mathbf{B}_i \mathbf{p}_i} \\ &= \overline{SINR}_{\text{bajo}} \end{aligned}$$

con

$$A_i = \frac{h_{ii}^* h_{ii}^T}{a_i}$$

$$B_i = \frac{h_{ji}^* h_{ji}^T + \frac{\sigma_i^2}{E_{tx_i}} I_M}{b_i},$$

y

$$a_i = |h_{ij}^T p_j|^2 + \sigma_i^2$$

$$b_i = |h_{jj}^T p_j|^2.$$

en donde \overline{SINR} es una relación común de señal respecto a ruido de interferencia, los índices i y j son iguales a 1 ó 2, en donde i es diferente de j , p_i, p_j son vectores de precodificación de la primera estación de base o la segunda estación de base, h_{ii}, h_{ij}, h_{ji} y h_{jj} son información de ganancia de canal de un canal entre una estación de base y un dispositivo inalámbrico, σ_i^2 es una potencia de ruido, I_M es la matriz de identidad de tamaño M , E_{tx_i} es la potencia de transmisión, a_i es un parámetro de fuerza de interferencia y b_i es un parámetro de fuerza de señal.

9. Procedimiento como se describe en la reivindicación 6, en donde el enlace inferior de la relación común de señal respecto a interferencia (\overline{SINR}') se define por

$$\overline{SINR}' = \frac{1}{p_i^H B_i p_i} + \frac{p_i^H A_i p_i}{p_i^H B_i p_i}$$

$$= \frac{p_i^H (A_i + \frac{1}{E_{tx_i}} I_M) p_i}{p_i^H B_i p_i}$$

$$= \frac{p_i^H D_i' p_i}{p_i^H B_i p_i},$$

con

$$A_i = \frac{h_{ii}^* h_{ii}^T}{a_i}$$

$$B_i = \frac{h_{ji}^* h_{ji}^T + \frac{\sigma_i^2}{E_{tx_i}} I_M}{b_i},$$

y

$$a_i = |h_{ij}^T p_j|^2 + \sigma_i^2$$

$$b_i = |h_{jj}^T p_j|^2.$$

en donde \overline{SINR}' es una relación común de señal respecto a ruido de interferencia, los índices i y j son iguales a 1 ó 2 en donde i es diferente de j , p_i, p_j son vectores de precodificación de la primera estación de base o la segunda estación de base, h_{ii}, h_{ij}, h_{ji} y h_{jj} son información de ganancia de canal de un canal entre una estación de base y un dispositivo inalámbrico, σ_i^2 es una potencia de ruido, I_M es la matriz de identidad de tamaño M , E_{tx_i} es la potencia de transmisión, a_i es un parámetro de fuerza de interferencia y b_i es un parámetro de fuerza de señal.

10. Procedimiento como se describe en una de las reivindicaciones 1 a 9, en donde el primer parámetro de fuerza de señal (b_i) está definido por

$$b_i = |h_{jj}^T p_j|^2.$$

en donde los índices i y j son iguales a 1 ó 2, en donde i es diferente de j , p_j son vectores de precodificación de la primera estación de base o de la segunda estación de base y h_{ij} es información de ganancia de canal de un canal entre una estación de base y un dispositivo inalámbrico.

5 **11.** Procedimiento como se describe en una de las reivindicaciones 1 a 10, en donde el primer parámetro de fuerza de interferencia (a_i) se define por

$$a_i = \left| h_{ij}^T p_j \right|^2 + \sigma_i^2$$

10 en donde los índices i y j son igual a 1 ó 2, en donde i es diferente de j , p_j son vectores de precodificación de la primera estación de base o la segunda estación de base, h_{ij} es información de ganancia de canal de un canal entre una estación de base y un dispositivo inalámbrico y σ_i^2 es la potencia de ruido.

15 **12.** Procedimiento como se describe en una de las reivindicaciones 1 a 11, en donde la maximización se realiza al resolver un problema de vector de un vector propio (eigenvector) generalizado, en donde el vector de precodificación ($p_{i,opt}$) para datos de precodificación es el vector propio que corresponde a un valor propio (eigenvalue) generalizado máximo (λ_{max}) de matrices ($D_{bajo,i}$, B_i) que dependen de la primera información de estado de canal, la primera información de ganancia de canal (h_{21}), el primer parámetro de fuerza de señal (b_i) y el primer parámetro de fuerza de interferencia (a_i).

20 **13.** Procedimiento como se describe en la reivindicación 12, en donde el problema de vector propio generalizado que se va a resolver es

$$25 \quad D_{bajo,i} p_{i,opt} = \lambda_{max} B_i p_{i,opt}$$

en donde $D_{bajo,i}$ se define por

$$\begin{aligned} 30 \quad \overline{\text{SINR}} &= \frac{\mathbf{p}_i^H \mathbf{A}_i \mathbf{p}_i \mathbf{p}_i^H \mathbf{B}_i \mathbf{p}_i + 1 + \mathbf{p}_i^H \mathbf{A}_i \mathbf{p}_i}{\mathbf{p}_i^H \mathbf{B}_i \mathbf{p}_i} \\ &\geq \frac{\mathbf{p}_i^H \left(\frac{\sigma_i^2}{b_i} \mathbf{A}_i + \frac{1}{E_{tx_i}} \mathbf{I}_M + \mathbf{A}_i \right) \mathbf{p}_i}{\mathbf{p}_i^H \mathbf{B}_i \mathbf{p}_i} \\ 35 \quad &= \frac{\mathbf{p}_i^H \left(\left(1 + \frac{\sigma_i^2}{b_i} \right) \mathbf{A}_i + \frac{1}{E_{tx_i}} \mathbf{I}_M \right) \mathbf{p}_i}{\mathbf{p}_i^H \mathbf{B}_i \mathbf{p}_i} \\ &= \frac{\mathbf{p}_i^H \mathbf{D}_{bajo,i} \mathbf{p}_i}{\mathbf{p}_i^H \mathbf{B}_i \mathbf{p}_i} \\ 40 \quad &= \overline{\text{SINR}}_{bajo,i} \end{aligned}$$

con

$$A_i = \frac{h_{ii}^* h_{ii}^T}{a_i}$$

$$B_i = \frac{h_{ji}^* h_{ji}^T + \frac{\sigma_i^2}{E_{tx_i}} I_M}{b_i},$$

y

$$a_i = |h_{ij}^T p_j|^2 + \sigma_i^2$$

$$b_i = |h_{jj}^T p_j|^2.$$

15 en donde \overline{SINR} es una relación común de señal respecto a ruido de interferencia, los índices i y j son iguales a 1 ó 2, en donde i es diferente de j, p_i, p_j son vectores de precodificación de la primera estación de base o la segunda estación de base, h_{ii}, h_{ij}, h_{ji} y h_{jj} son información de ganancia de canal de un canal entre una estación de base y un dispositivo inalámbrico, σ_i^2 es una potencia de ruido, I_M es la matriz de identidad de tamaño M, E_{tx_i} es la potencia de transmisión, a_i es un parámetro de fuerza de interferencia y b_i es un parámetro de fuerza de señal.

20 **14.** Aparato (1000) para determinar un vector de precodificación ($p_{i,opt}$) para precodificar datos que van a ser transmitidos a un dispositivo inalámbrico en un sistema de comunicación inalámbrico, el aparato comprende:

25 un receptor inalámbrico (1010) configurado para recibir una primera información de estado de canal de un canal entre un primer dispositivo inalámbrico y una primera estación de base en el sistema de comunicación inalámbrico, en donde la primera información de estado de canal se recibe por una primera estación de base desde el primer dispositivo inalámbrico;

30 un receptor de línea cableada (1020) configurado para recibir una primera información de ganancia de canal (h_{21}) de un canal entre el segundo dispositivo inalámbrico y la primera estación de base, en donde la primera información de ganancia de canal (h_{21}) es recibida desde una segunda estación de base, en donde el receptor de línea cableada (1020) se configura para recibir un primer parámetro de fuerza de señal (b_i) desde la segunda estación de base que indica una fuerza de señal en el segundo dispositivo inalámbrico causada por la segunda estación de base, en donde el receptor de línea cableada (1020) está configurado además para recibir un primer parámetro de fuerza de interferencia (a_i) desde la segunda estación de base indicando una fuerza de interferencia en el primer dispositivo inalámbrico causada por la segunda estación de base; y

35 un procesador (1030) configurado para obtener un vector de precodificación ($p_{i,opt}$) para precodificar datos que van a ser transmitidos al primer dispositivo inalámbrico por maximización de un parámetro de relación común de señal respecto a ruido de interferencia ($C, \overline{SINR}, \overline{SINR}_{bajo}, \overline{SINR}'$), en donde el parámetro de relación común de señal respecto a ruido de interferencia ($C, \overline{SINR}, \overline{SINR}_{bajo}, \overline{SINR}'$) depende de una relación de señal respecto a ruido de interferencia en el primer dispositivo inalámbrico y una relación de señal respecto a ruido de interferencia en el segundo dispositivo inalámbrico y se basa en la primera información de estado de canal, la primera información de ganancia de canal (h_{21}), el primer parámetro de fuerza de señal (b_i) y el primer parámetro de fuerza de interferencia (a_i).

40 **15.** Programa de computadora con un código de programa para realizar el procedimiento como se describe en una de las reivindicaciones 1 a 13, en donde el programa de computadora se ejecuta en una computadora o un microcontrolador.

50

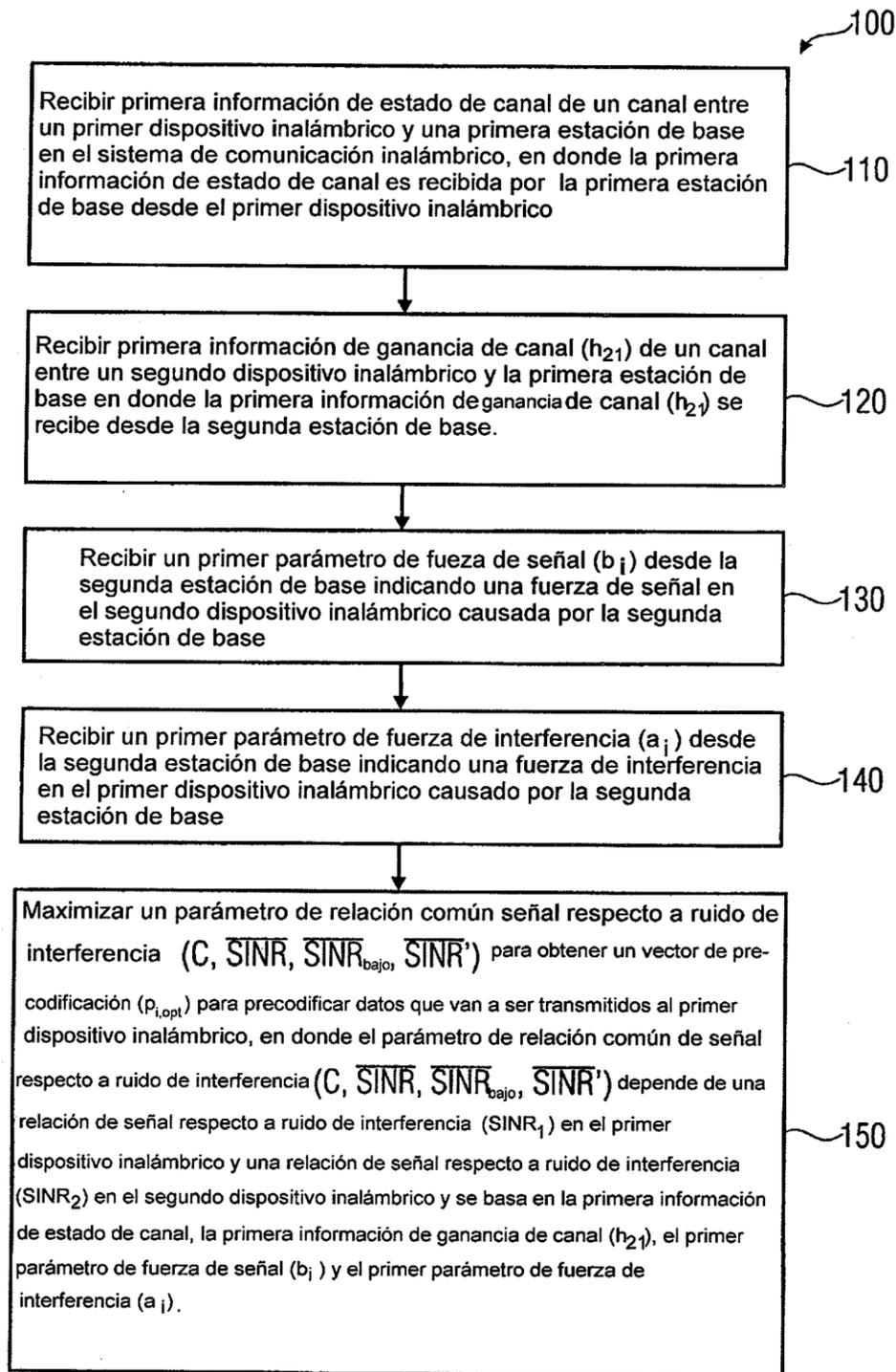


FIG 1

$$C = \log\left(1 + \frac{\text{potencia de señal } S_1 \text{ de BS1}}{\text{potencia de interferencia } i_2 \text{ de BS 2} + |n_1|^2}\right) + \log\left(1 + \frac{\text{potencia de señal } S_2 \text{ de BS 2}}{\text{potencia de interferencia } i_1 \text{ de BS 1} + |n_2|^2}\right)$$

$\underbrace{\text{potencia de interferencia } i_2 \text{ de BS 2}}_{\text{SINR}_1}$
 $\underbrace{\text{potencia de interferencia } i_1 \text{ de BS 1}}_{\text{SINR}_2}$

FIG 2

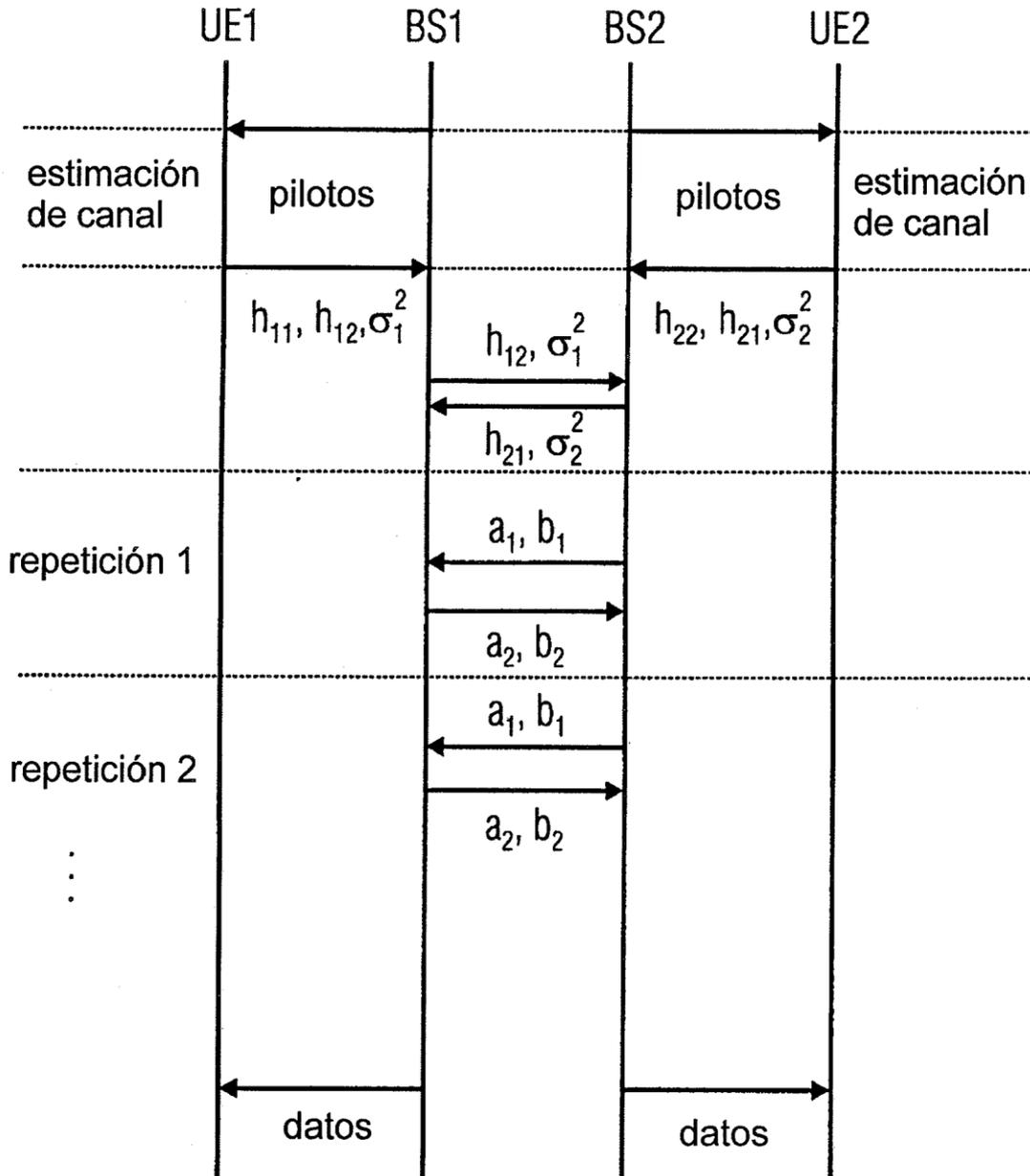


FIG 3

$$C = \log\left(1 + \frac{|h_{11}^T b_1|^2}{|h_{12}^T b_2|^2 + |n_1|^2}\right) + \log\left(1 + \frac{|h_{22}^T b_2|^2}{|h_{21}^T b_1|^2 + |n_2|^2}\right)$$

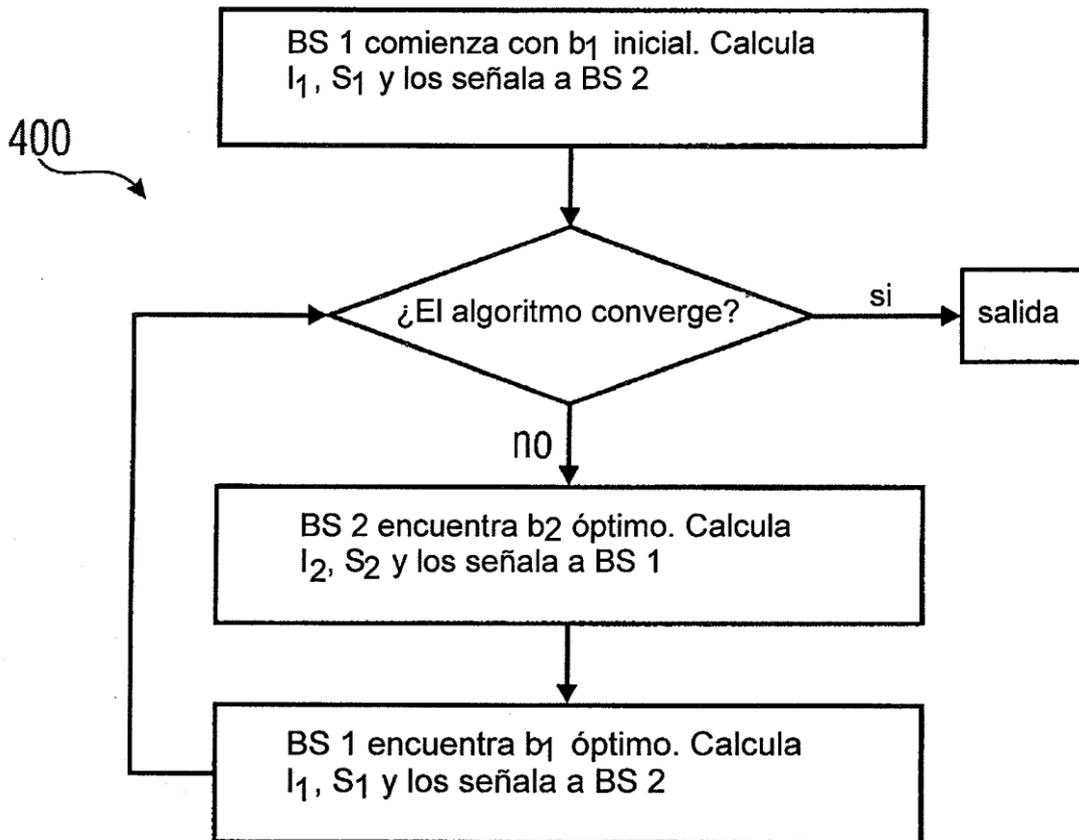


FIG 4

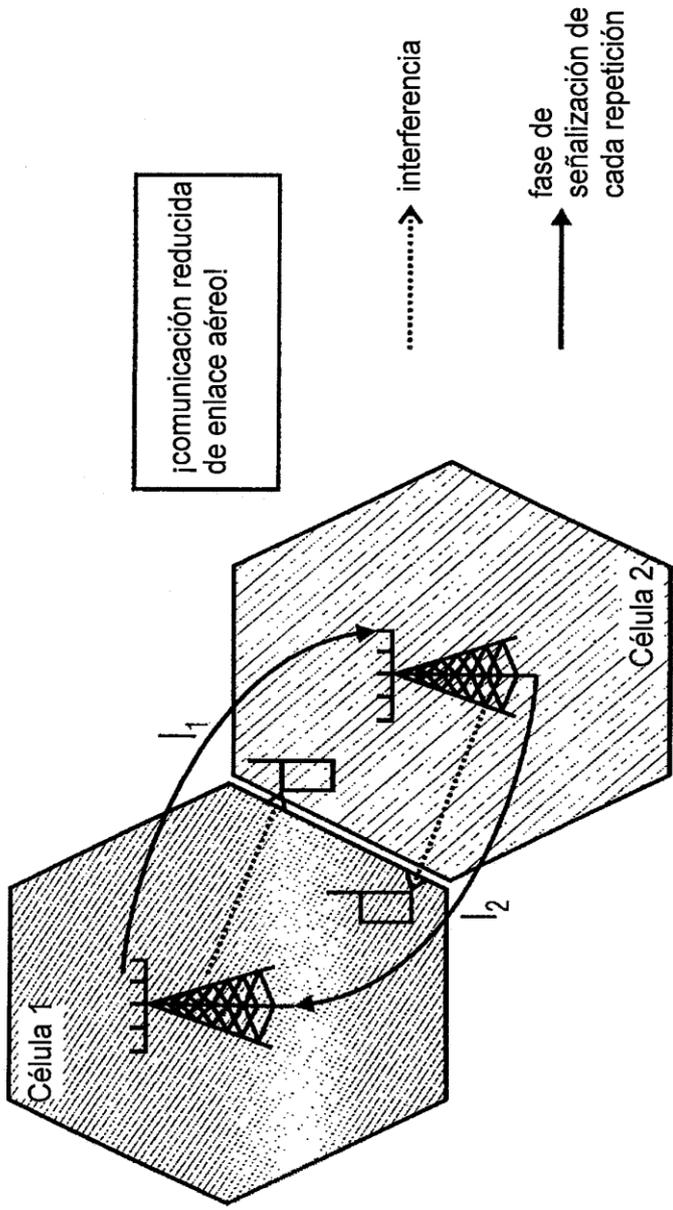


FIG 5

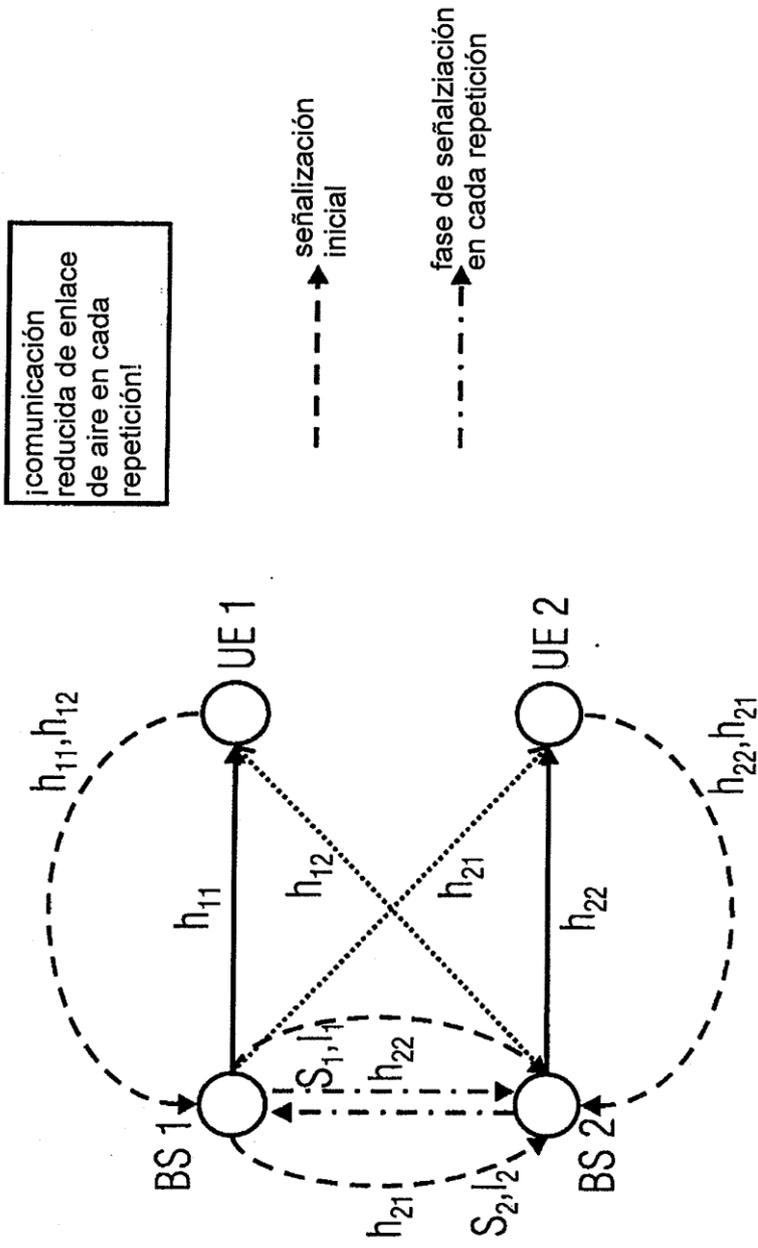


FIG 6

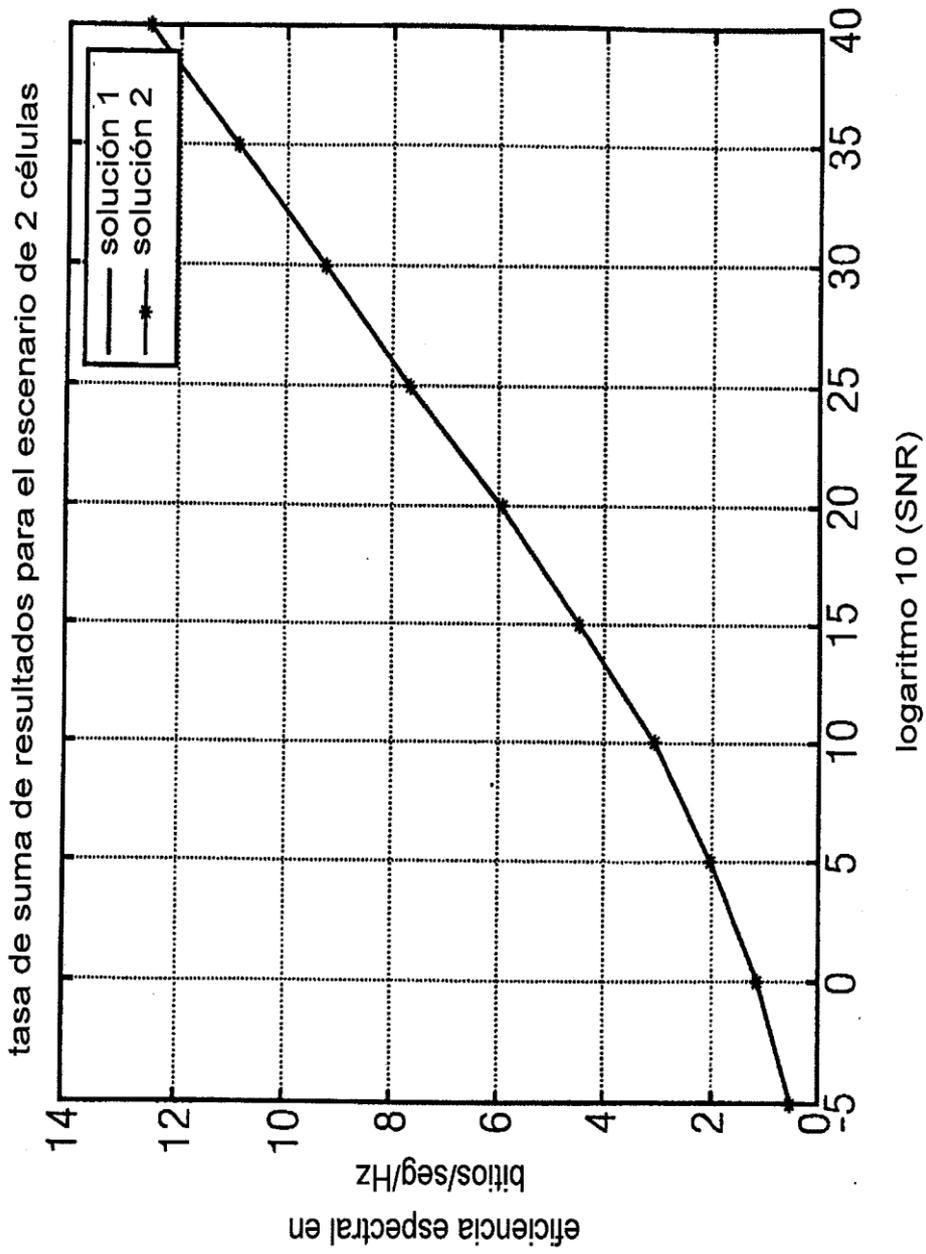


FIG 7

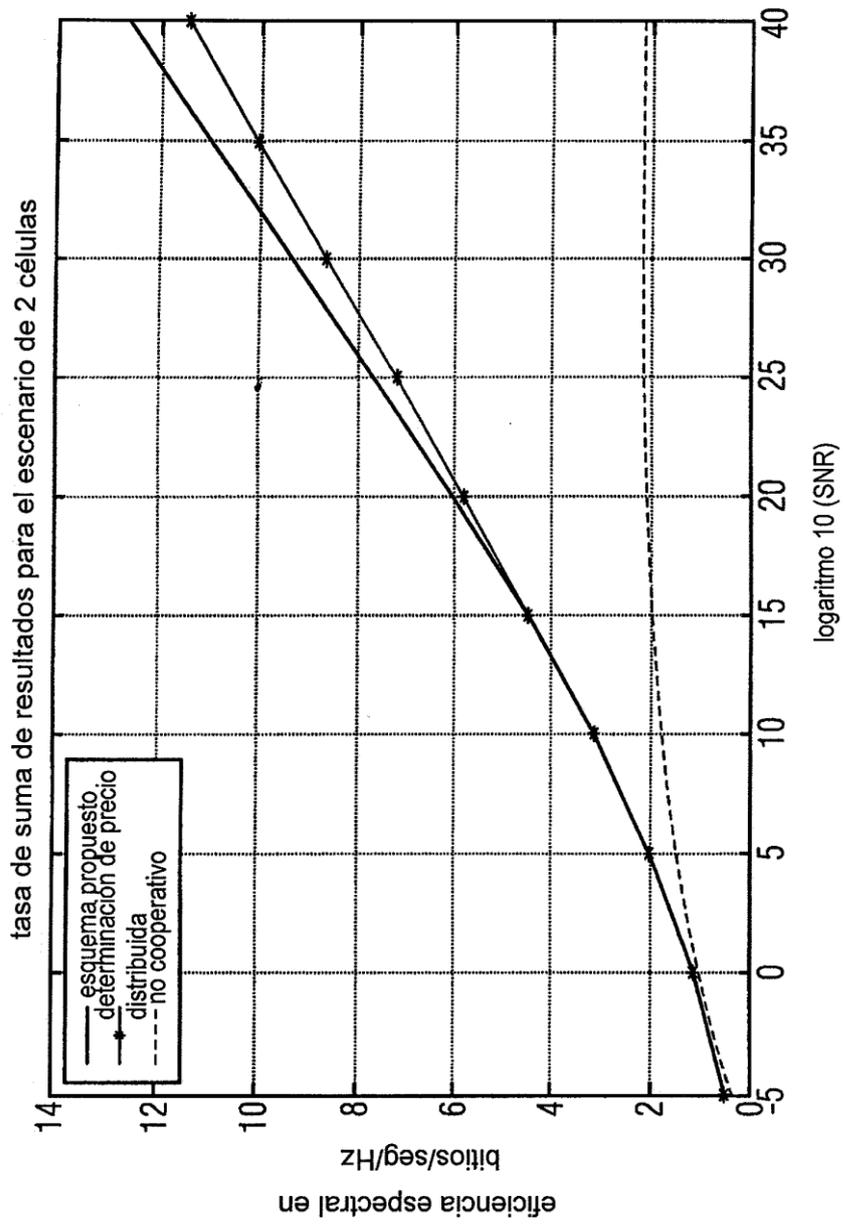


FIG 8

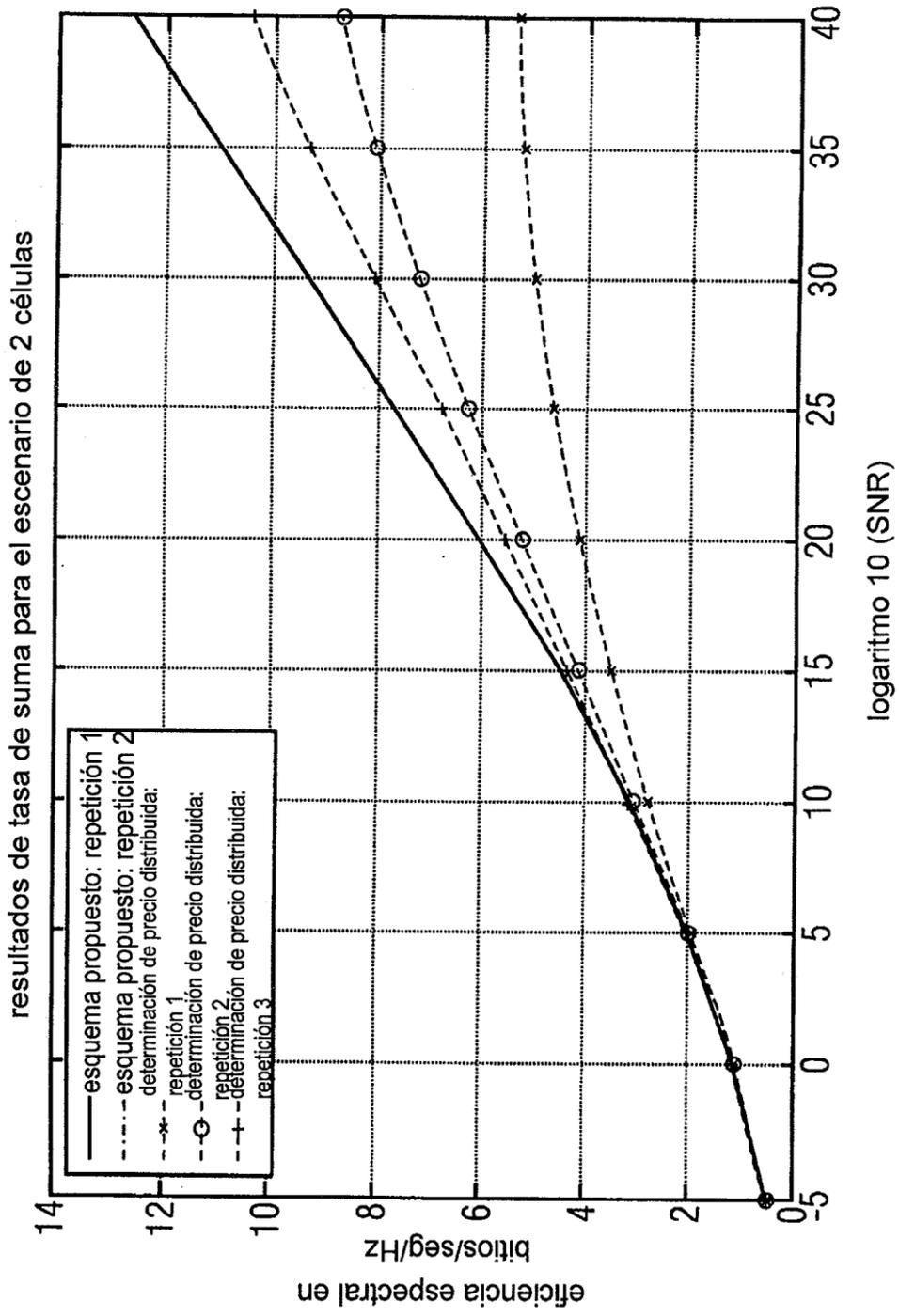


FIG 9

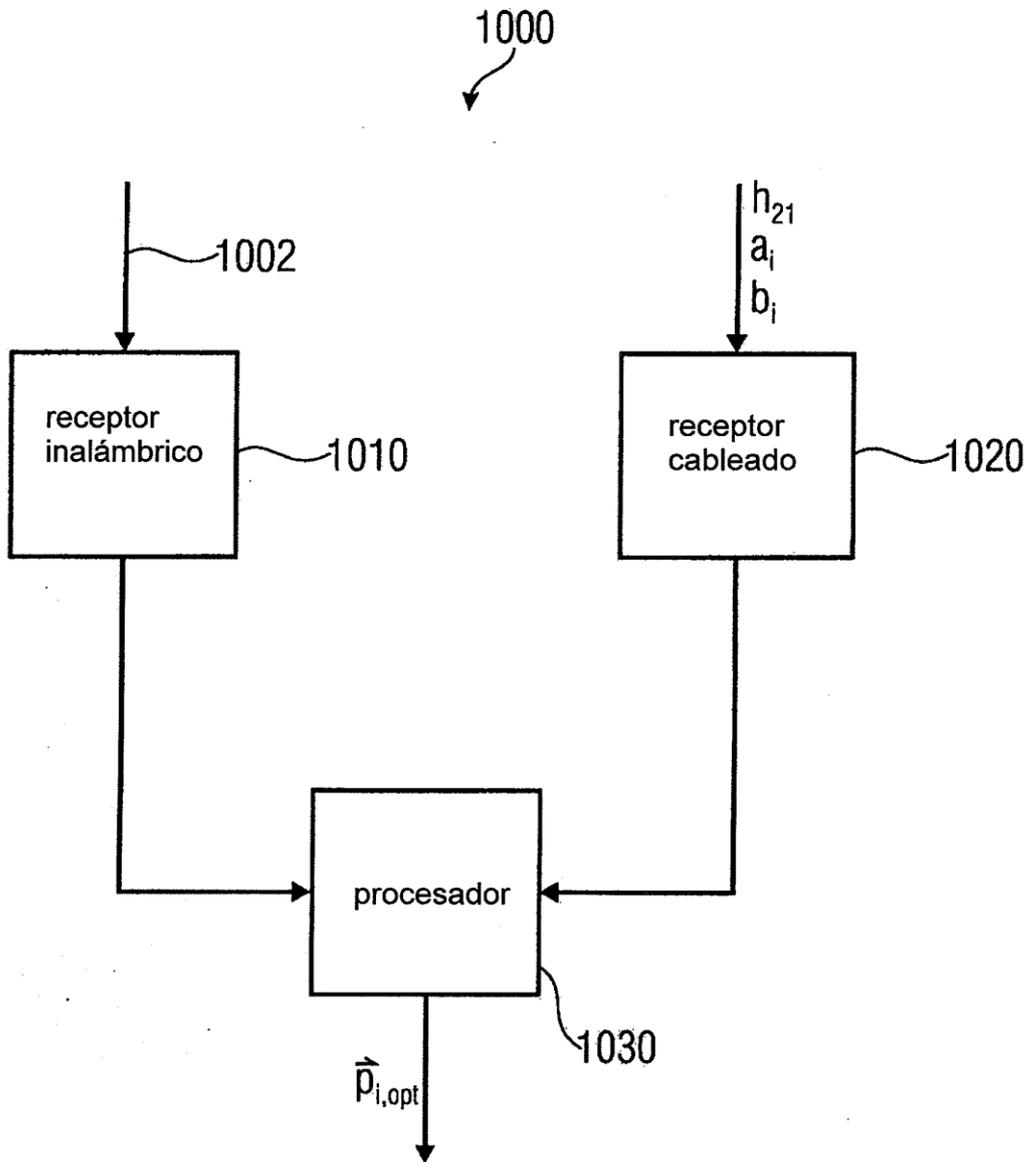
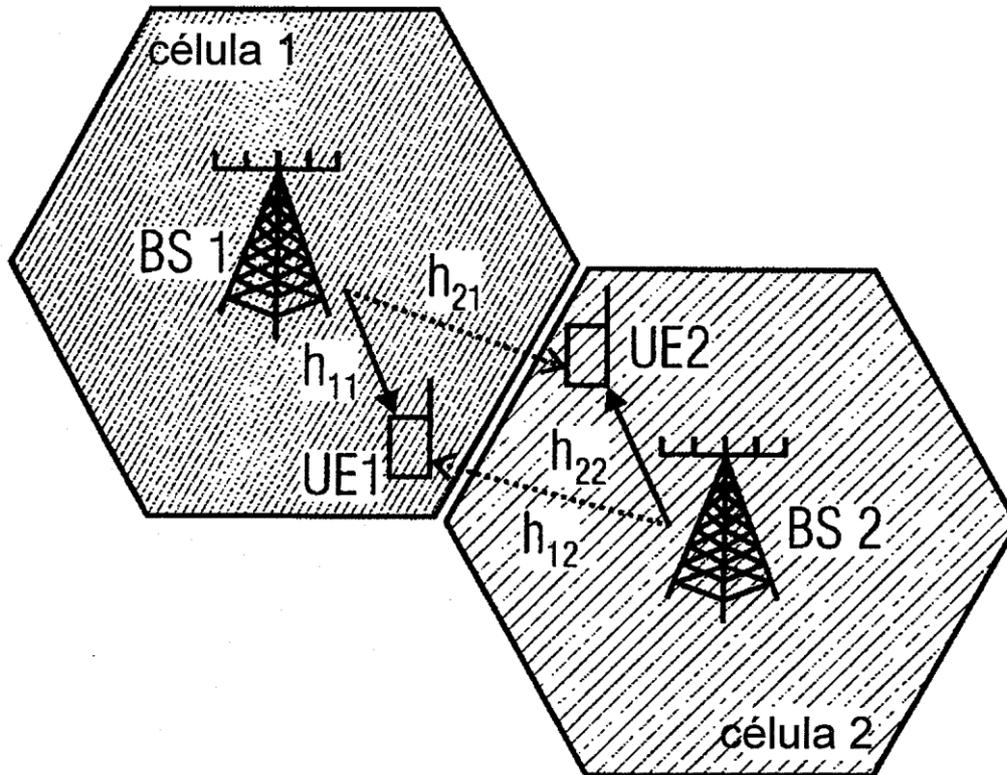


FIG 10



—————> enlaces directos
.....> enlaces de interferencia

FIG 11A

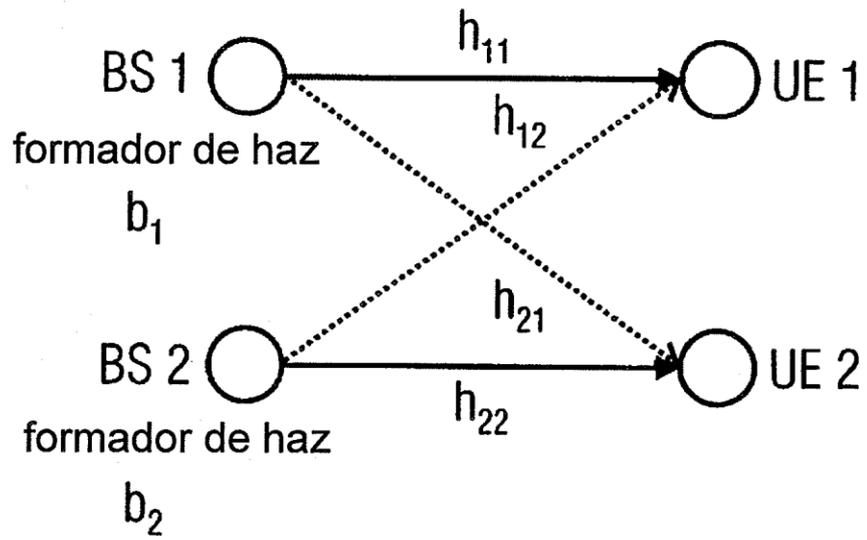


FIG 11B

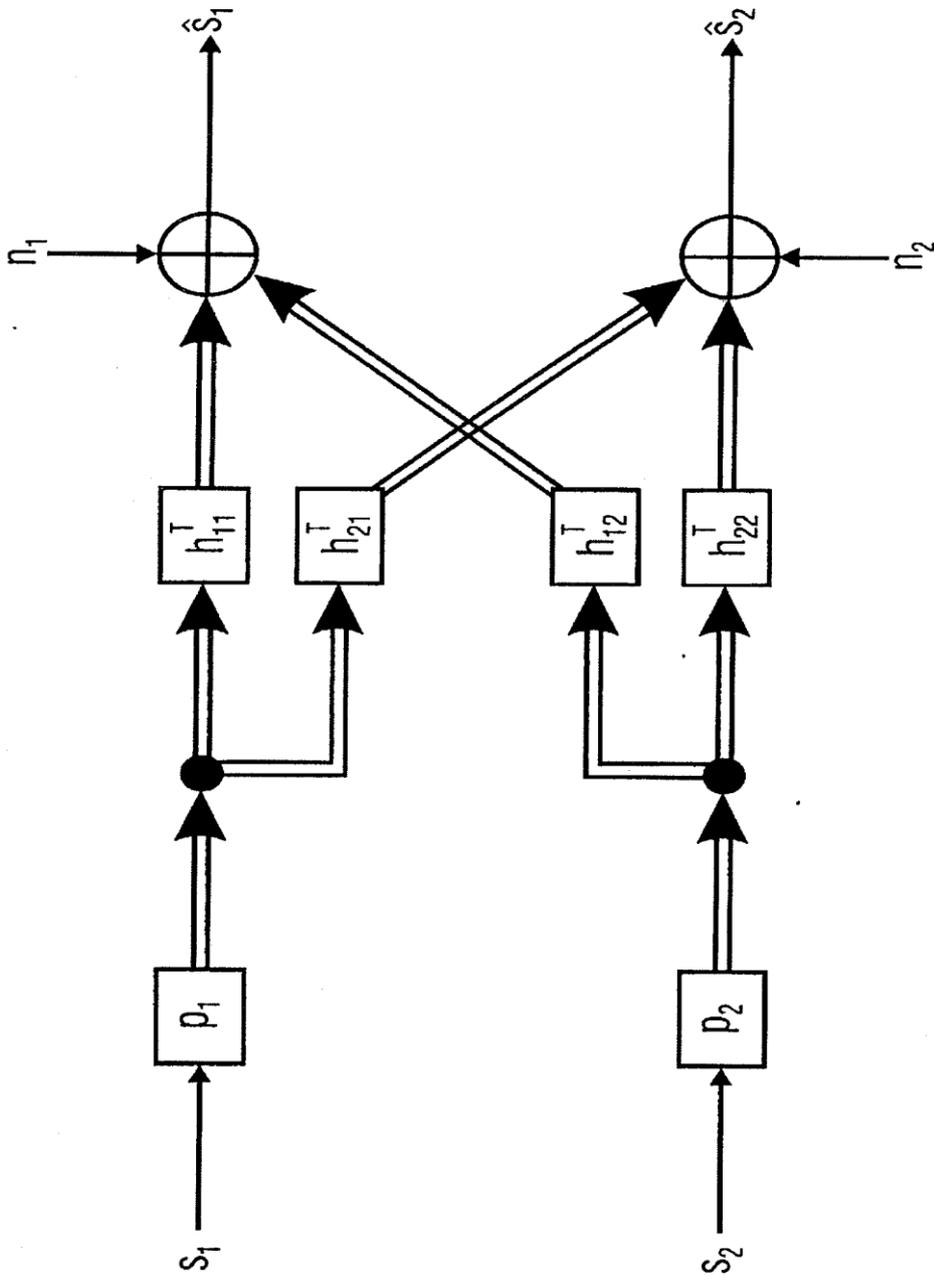


FIG 12

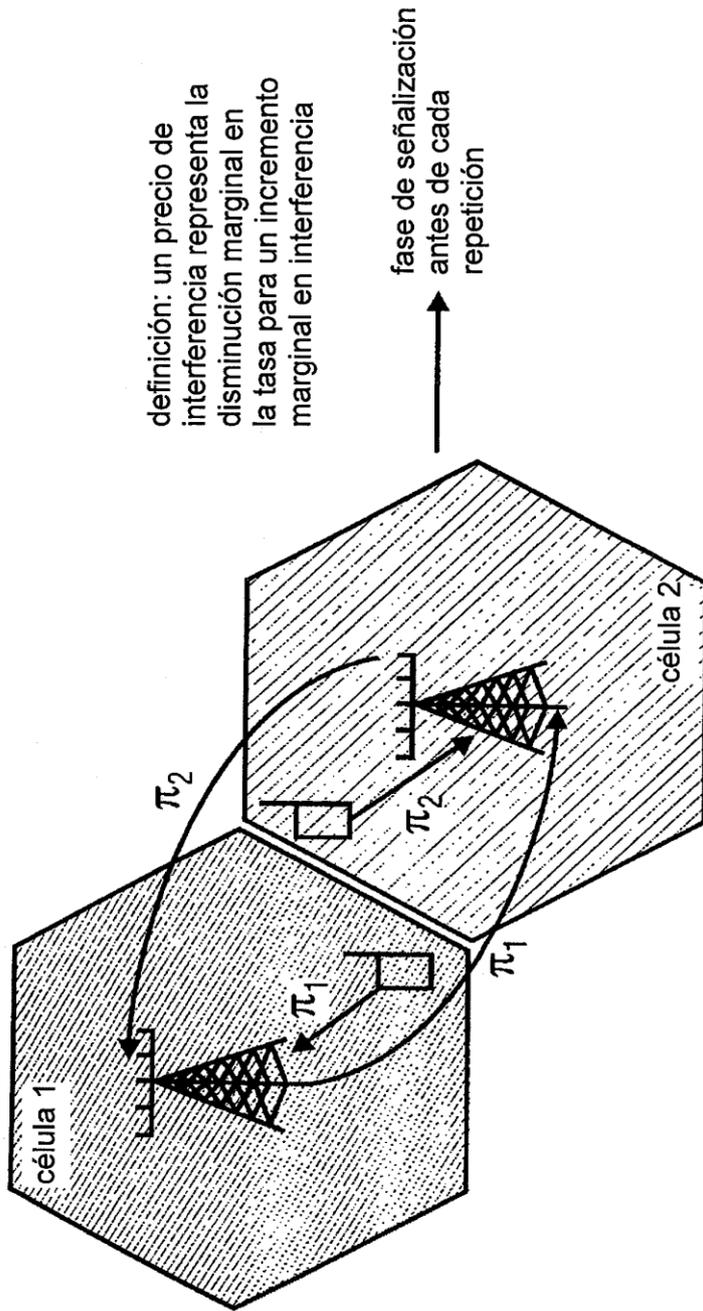


FIG 13

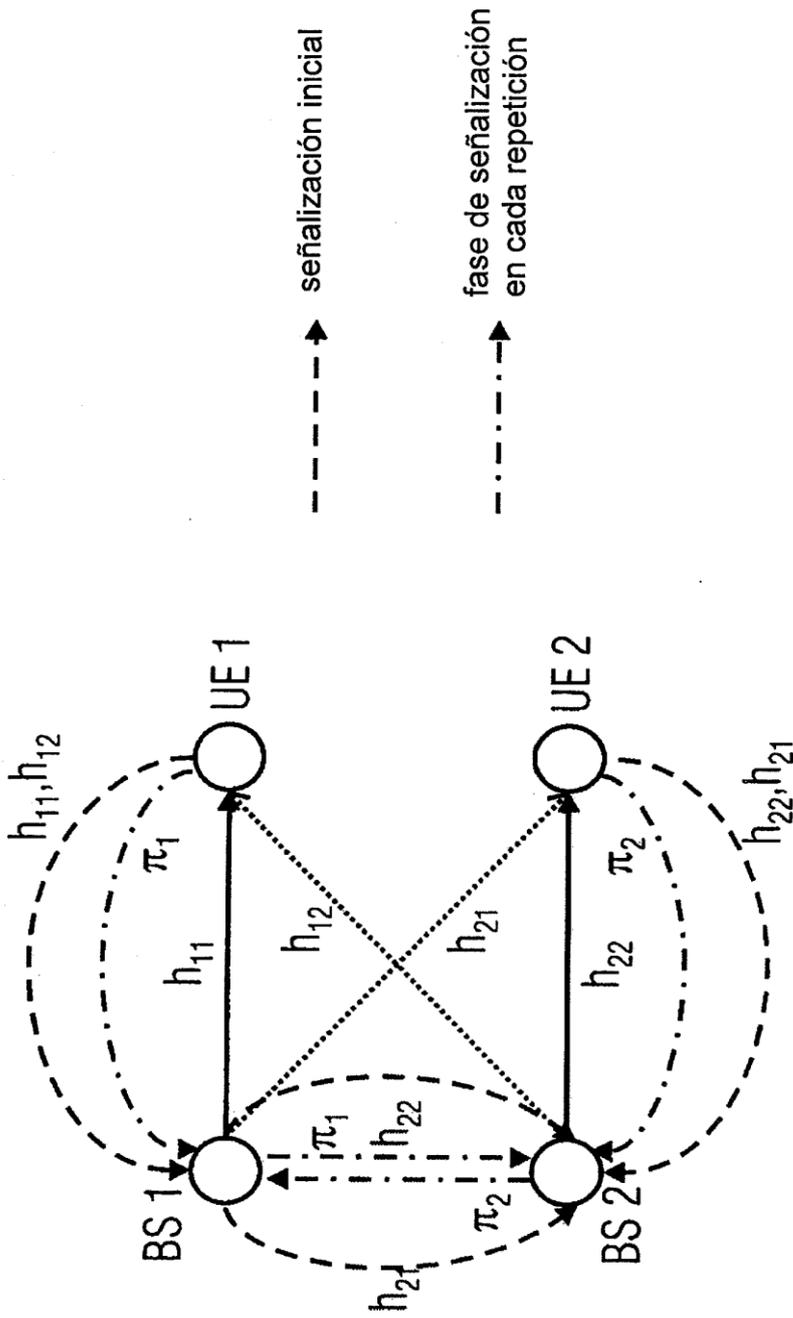


FIG 14

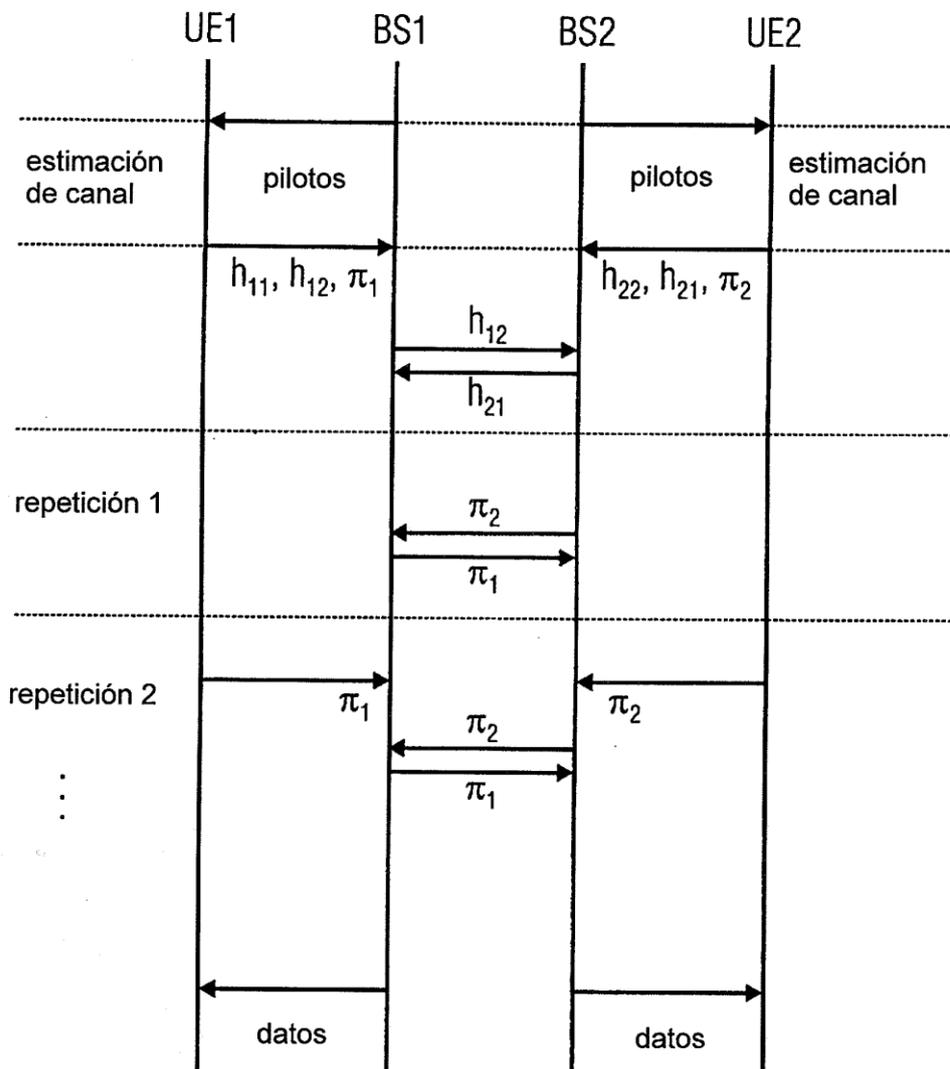


FIG 15