



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 305 470**

51 Int. Cl.:
H04B 7/06 (2006.01)
H04B 7/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **03735317 .4**
86 Fecha de presentación : **27.05.2003**
87 Número de publicación de la solicitud: **1508207**
87 Fecha de publicación de la solicitud: **23.02.2005**

54 Título: **Procedimiento para la transmisión de información en un sistema de comunicación por radio MIMO y sistemas de comunicación por radio.**

30 Prioridad: **27.05.2002 DE 102 23 564**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.11.2008

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.11.2008

73 Titular/es:
Nokia Siemens Networks GmbH & Co. KG.
St. Martin Strasse 76
81541 München, DE

72 Inventor/es: **Baier, Paul, Walter;**
Jötten, Christoph, Arnold;
Meurer, Michael;
Qiu, Wei y
Tröger, Hendrik

74 Agente: **Zuazo Araluze, Alexander**

ES 2 305 470 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 para la transmisión de información en un sistema de comunicación por radio MIMO y sistemas de comunicación por radio.

La invención se refiere a un procedimiento para generar un vector de señal de emisión en un sistema de comunicación por radio con al menos una estación de emisión y al menos una estación de recepción según el preámbulo de la reivindicación 1.

La invención se refiere además a un sistema de comunicación por radio que comprende al menos una estación de emisión y al menos dos estaciones de recepción según el preámbulo de la reivindicación 7.

En sistemas de comunicación por radio se transmite información (por ejemplo voz, información de imagen, información de vídeo, SMS [*Short Message Service*, servicio de mensajes cortos] u otros datos) mediante ondas electromagnéticas a través de una interfaz de radiotelefonía entre una estación emisora y una receptora (estación base o estación de abonado). La emisión de las ondas electromagnéticas se produce a este respecto con frecuencias portadoras que se encuentran en la banda de frecuencia prevista para el sistema respectivo. Para el sistema de radiotelefonía móvil GSM (*Global System for Mobile Communication*, sistema global para comunicación móvil) establecido se utilizan frecuencias a 900, 1800 y 1900 MHz. Para sistemas de radiotelefonía móvil futuros con procedimientos de transmisión CDMA o TD/CDMA, tal como por ejemplo UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*, sistema de telecomunicación móvil universal) u otros sistemas de tercera generación, están previstas frecuencias en la banda de frecuencia de aproximadamente 2000 MHz.

El acceso de estaciones al mismo medio de transmisión se regula en estos sistemas de comunicación por radio mediante procedimientos de acceso múltiple (*Multiple Access*, MA). En el caso de estos accesos múltiples, el medio de transmisión puede dividirse en el dominio del tiempo (*Time Division Multiple Access*, TDMA, acceso múltiple por división de tiempo), en el dominio de la frecuencia (*Frequency Division Multiple Access*, FDMA, acceso múltiple por división de frecuencia), en el dominio del código (*Code Division Multiple Access*, CDMA, acceso múltiple por división de código) o en el dominio espacial (*Space Division Multiple Access*, SDMA, acceso múltiple por división de espacio) entre las estaciones. A este respecto tiene lugar a menudo (por ejemplo en GSM [*Global System for Mobile Communications*], TETRA [*Terrestrial Trunked Radio*, radiotelefonía terrestre de grupo cerrado], DECT [*Digital Enhanced Cordless Telecommunication*, telecomunicación inalámbrica mejorada digital], UMTS [*Universal Mobile Telecommunication System*]) una subdivisión del medio de transmisión en canales de frecuencia y/o de tiempo conforme a la interfaz de radiotelefonía. Estos canales se denominan en general como canales de transmisión o canales de radio. En el caso de sistemas coordinados de manera descentralizada se decide mediante mediciones la capacidad de utilización de estos canales de transmisión. Según la radiopropagación, es decir en función de la atenuación de campo, es posible también una reutilización de estos canales de transmisión con una separación espacial correspondiente.

En el caso de la radiotransmisión entre una estación de emisión y al menos una estación de recepción de un sistema de transmisión por radio se producen ahora como consecuencia de la selectividad de frecuencias de los canales de transmisión apariciones de interferencias, que se conocen como interferencia entre símbolos e interferencias por acceso múltiple. Estas interferencias distorsionan las señales de emisión de manera más intensa cuanto mayor sea el ancho de banda de transmisión del canal de transmisión.

Normalmente, las señales de emisión se generan en la estación de emisión sin tener en cuenta los canales de radio útiles. Las apariciones de interferencias que surgen entonces se eliminan en una segunda etapa, al menos aproximadamente, mediante procedimientos adaptados y generalmente muy costosos correspondientes para detectar los datos transmitidos en las estaciones de recepción.

Se conocen sistemas de comunicación por radio con al menos una estación de emisión (punto de acceso AP [*Access point*] o estación base) y al menos dos estaciones de recepción (terminal móvil MT [*Mobile Terminal*]), estando la estación de emisión (AP) y las estaciones de recepción (MT) unidas entre sí a través de una interfaz de comunicación por radio. A este respecto la estación de emisión presenta una antena emisora con K_B elementos de antena con $K_B \geq 1$ y las estaciones de recepción en cada caso una antena emisora con K_M elementos de antena con $K_M \geq 1$. Se comunican a través de una transmisión MIMO (*Multiple Input - Multiple Output*, MIMO, entrada múltiple - salida múltiple).

Los dispositivos de transmisión por radio con al menos una estación de emisión con varios elementos emisores y al menos una estación de recepción con varios elementos receptores se denominan en lo sucesivo como sistemas MIMO. En la transmisión por radio entre al menos una estación de emisión y al menos una estación de recepción de un sistema MIMO se produce como consecuencia de la selectividad de frecuencias de los canales de transmisión apariciones de interferencias, que se conocen como interferencia entre símbolos e interferencia por acceso múltiple. Con vistas a la transmisión por radio de al menos una estación de emisión a las estaciones de recepción en un sistema MIMO han de cumplirse en principio dos condiciones:

- desde la respectiva estación de emisión deben generarse y emitirse señales de emisión adecuadas para cada una de las antenas emisoras, así como

- desde cada estación de recepción deben detectarse mediante un procesamiento adecuado de las señales de recepción de todas las antenas receptoras los datos de interés en cada caso.

Durante los últimos años se han investigado conceptos alternativos, tales como por ejemplo la transmisión conjunta o la predistorsión conjunta, que teniendo en cuenta los canales de transmisión útiles ya al generar las señales de emisión en la estación de emisión, eliminan total, esencial o al menos parcialmente las apariciones de interferencias.

- M. Meurer, P.W. Baier, T. Weber, Y. Lu, A. Papathanassiou, "Joint Transmission, an advantageous downlink concept for CDMA mobile radio system using time division duplexing", *IEE Electronics Letters*, tomo 36, 2000, págs. 900-901 [1] y
- P.W. Baier, M. Meurer, T. Weber, H. Tröger, "Joint Transmission (JT), an alternative rationale for the downlink of time division CDMA using multi-element transmit antennas", Proc. IEEE 7th International Symposium on Spread Spectrum Techniques & Applications (ISSSTA'2000), Parsippany/New Jersey, 2000, págs. 1-5 [2]

presentan por ejemplo un procedimiento de transmisión de Transmisión Conjunta (JT, *Joint Transmission*), especialmente para el trayecto ascendente de los sistemas de radiotelefonía móvil de la estación base a las estaciones de abonado, que posibilita el suministro simultáneo de varios abonados. Las señales de emisión emitidas por las antenas emisoras de la estación base o estación de emisión (AP) se generan a este respecto en un proceso común y se optimizan con respecto a la energía de emisión que ha de aplicarse para ello.

En sistemas de transmisión conjunta con al menos una estación emisora con al menos una antena emisora y al menos una estación de recepción con al menos una antena receptora el procesamiento de señales lineal en el lado de recepción, en lo sucesivo denominado demodulación, se describe mediante matrices de demodulación específicas de la estación de recepción [2].

En sistemas de transmisión conjunta convencionales [2], las matrices de demodulación específicas del abonado se determinan por firmas fijas, por ejemplo códigos CDMA. Este modo de proceder es especialmente específico porque no influye ninguna información sobre las propiedades de transmisión espaciales y temporales de los canales de radiotelefonía móvil útiles entre estaciones de emisión y estaciones de recepción en el diseño de las matrices de demodulación específicas del abonado.

De manera similar al modo de proceder en el caso del procedimiento de Transmisión Conjunta (JT), en el caso de utilizar estaciones de recepción con varias antenas receptoras, empleando

- información sobre los canales de radio útiles e
- información sobre los procedimientos de procesamiento específicos de la estación de recepción establecidos *a priori* para la detección

pueden generarse tales señales de emisión, que eliminan a la perfección teóricamente las apariciones de interferencias resultantes anteriormente mencionadas ya durante la emisión.

Por el documento M. Meurer *et al.* "Synthesis of joint detection and joint transmission in CDMA downlinks", *Electronics Letters*, 5 de julio de 2001, Vol. 37, nº 14, IEE 2001, pág. 919-920 se conoce una síntesis de dos conceptos contrarios a saber la "detección conjunta" y la "transmisión conjunta". La propuesta de éste documento se basa en la minimización de la energía de la señal transmitida, mientras que al mismo tiempo la estructura de receptores JD convencionales y la calidad de los datos detectados se mantienen constantes.

Por el documento EP 0 801 473 se conoce un sistema de transmisión de datos de alta velocidad adaptativo, en el que el emisor del sistema utiliza una pluralidad de antenas emisoras, que presentan una desviación (*offset*) controlable.

La invención se basa por tanto en el objetivo de mostrar un procedimiento y un dispositivo de emisión mejorado que tienen en cuenta para los canales de transmisión útiles tanto una minimización de la potencia de emisión como criterios de calidad adicionales, tales como por ejemplo una característica de dirección de la señal de emisión.

Este objetivo se soluciona mediante un procedimiento con las características según la reivindicación 1 y un sistema de comunicación por radio con las características según la reivindicación 7.

Configuraciones y perfeccionamientos de la invención son objeto de las reivindicaciones dependientes.

Según la invención se generan mediante los elementos de antena de la antena emisora de la estación de emisión señales de emisión emitidas en un proceso común y adaptadas con respecto a la energía de emisión que ha de aplicarse durante la emisión, detectándose por los elementos de antena de las antenas receptoras de las estaciones de recepción señales de recepción recibidas en un procesamiento de señales lineal.

ES 2 305 470 T3

Ventajosamente, las señales individuales pueden calcularse para los elementos de antena de la antena emisora de la estación de emisión con ayuda de una matriz M de modulacionantes de la emisión.

5 A este respecto puede generarse especialmente un vector de señal de emisión $t = M \cdot d$ mediante modulación esencialmente lineal de al menos un vector d de datos que ha de transmitirse con la matriz M de modulación.

Especialmente puede utilizarse en el procesamiento de señales lineal del lado del receptor matrices D de demodulación específicas de la estación de recepción.

10 Ventajosamente, cada estación (AP) de emisión y cada estación (MT) de recepción están unidas a través de al menos un canal de radio caracterizado por una matriz H de canal.

La matriz $B = D \cdot H$ de sistema contenida en la matriz M de demodulación viene dada preferiblemente por el producto de la matriz D de demodulación y la matriz H de canal.

15 En el sistema de comunicación por radio según la invención, en el que la estación de emisión presenta una antena emisora con KB elementos de antena con $KB \geq 2$ y las estaciones de recepción presentan en cada caso una antena emisora con KM elementos de antena con $KM \geq 2$, están previstos medios para generar las señales de emisión emitidas por los elementos de antena de la antena emisora de la estación (AP) de emisión en un proceso común y para adaptarlas con respecto a la energía de emisión que ha de aplicarse en la emisión, así como medios para detectar las
20 señales de recepción recibidas por los elementos de antena de las antenas receptoras de las estaciones de recepción en procesamiento de señales lineal.

25 El sistema de comunicación por radio según la invención es especialmente apropiado para la realización de un procedimiento según la invención.

La invención combina en un sistema de transmisión MIMO de múltiples abonados (*Multi-User*) en una combinación por un lado:

30 - la generación de señales de emisión específicas de la estación de emisión según la transmisión conjunta y, por otro lado:

35 - la demodulación, teniendo en cuenta la información sobre los dispositivos de transmisión espaciales y temporales, los canales de radiotelefonía móvil útiles entre las estaciones de emisión y las estaciones de recepción.

Transformaciones técnicas de este procedimiento novedoso combinado permiten aprovechar convenientemente las ventajas de ambos modos de proceder.

40 Puede tenerse en cuenta información sobre las propiedades de transmisión espaciales y temporales de los canales de radiotelefonía móvil útiles entre estaciones de emisión y estaciones de recepción determinando la demodulación específica de la estación de recepción.

La inclusión de propiedades de canal ofrece entre otras cosas las siguientes ventajas:

- 45
- reducción de la energía de emisión total,
 - evitar combinaciones de canales de radiotelefonía móvil y matrices de demodulación adaptadas erróneamente,
 - 50 - mejora de la situación de interferencia entre células en sistemas de transmisión conjunta celulares,
 - reducción de la degradación SNR (véase [3]),
 - aumento de la eficacia de transmisión (véase [3]),
 - 55 - aumento de la capacidad del sistema.

Puede considerarse como lo más aproximado a esto por ejemplo

60 • H. Tröger, T. Weber, M. Meurer, P.W. Baier, "Performance Assessment of Joint Transmission (JT) Multi-User Downlink with Multi-Element Transmit Antennas", *European Transactions on Telecommunications*, ETT Vol. 12, n° 5, septiembre-octubre de 2001 [3].

65 Particularidades y detalles de la invención se explican a continuación más detalladamente mediante los ejemplos de aplicación.

A este respecto muestran:

la figura 1: un modelo de sistema de un sistema MIMO JT según la invención,

la figura 2: la estructura de una matriz $\bar{H}_0^k$ de canal según la ecuación (21) más adelante,

la figura 3: la estructura de una matriz $D^{(k)}$ de canal según la ecuación (38) más adelante.

La transmisión conjunta (JT) es un procedimiento de transmisión muy prometedor para los trayectos ascendentes [1, 2, 3], que se propone para sistemas de radiotelefonía móvil que utilizan procedimientos de acceso múltiple híbridos TDMA/CDMA. Con JT, las señales de transmisión se generan ventajosamente de manera común para todas las estaciones MT de recepción. La JT se basa en demoduladores predeterminados [?]. Basándose en las propiedades de estos demoduladores y en las respuestas de impulso de canal, el modulador en la estación AP de emisión se determina *a posteriori* de tal manera que se eliminan completamente interferencias entre símbolos (ISI) e interferencias por acceso múltiple (MAI - *Multiple Access Interference*). Hasta ahora sólo se consideraban en las investigaciones de JT, antenas de varios elementos en la estación AP de emisión. A partir de investigaciones numéricas [3] resultan evidentes los beneficios de grupos de antenas emisoras. La presente invención se refiere a una JT en sistemas de transmisión con varios abonados, en los que se utilizan antenas de varios elementos tanto en la estación AP de emisión con en las estaciones MT de recepción. A continuación se expone un modelo de sistema de un procedimiento MIMO-JT de este tipo.

Modelo de transmisión de señales de sistemas MIMO con varios abonados

En la AP se utiliza un grupo de K_B elementos de antena emisora y en cada MT μ_k , $k = 1 \dots K$ se instala un grupo de K_M elementos de antena receptora. Las respuestas de impulso de canal

$$\underline{h}^{(k,k_B,k_M)} = \left(h_1^{(k,k_B,k_M)} \dots h_W^{(k,k_B,k_M)} \right)^T, \quad k = 1 \dots K, \quad k_B = 1 \dots K_B, \quad k_M = 1 \dots K_M, \quad (1)$$

de dimensión W caracterizan el canal de radiotelefonía móvil entre el elemento k_s de antena emisora y el elemento k_M de antena receptora de la MT μ_k . En cada uno de los K_B elementos de antena emisora se alimenta la señal de emisión específica de las antenas emisoras

$$\underline{t}^{(k_B)} = \left(t_1^{(k_B)} \dots t_S^{(k_B)} \right)^T, \quad k_B = 1 \dots K_B, \quad (2)$$

de dimensión S . Las K_B señales $t^{(k_B)}$ de emisión específicas de las antenas de (2) pueden agruparse para formar la señal de emisión total

$$\underline{t} = \left(\underline{t}^{(1)T} \dots \underline{t}^{(K_B)T} \right)^T \quad (3)$$

de dimensión $K_B S$. Con las respuestas de impulso de canal $h^{(k,k_B,k_M)}$ de (1) pueden formarse las matrices de convolución de canal específicas de MT y de las antenas

$$\begin{aligned} H_{i,j}^{(k,k_B,k_M)} &= \left(H_{i,j}^{(k,k_B,k_M)} \right), \quad i = 1 \dots S + W - 1, \quad j = 1 \dots S, \\ H_{i,j}^{(k,k_B,k_M)} &= \begin{cases} h_{i-j+1}^{(k,k_B,k_M)} & 1 \leq i - j + 1 \leq W, \\ 0 & \text{sonst.} \end{cases} \end{aligned} \quad (4)$$

$k = 1 \dots K, \quad k_B = 1 \dots K_B, \quad k_M = 1 \dots K_M,$

$H^{(k,k_B,k_M)}$ de (4) tiene la dimensión $(S + W - 1) \times S$.

Con $\mathbf{t}^{(k_B)}$ de (2) y $\mathbf{H}^{(k,k_B,k_M)}$ de (4) puede expresarse la señal recibida en la antena receptora k_M de MT μ_k como vector

$$\begin{aligned} \mathbf{r}^{(k,k_M)} &= \sum_{k_B=1}^{K_B} \mathbf{H}^{(k,k_B,k_M)} \mathbf{t}^{(k_B)} \\ &= \underbrace{(\mathbf{H}^{(k,1,k_M)} \dots \mathbf{H}^{(k,K_B,k_M)})}_{\mathbf{H}^{(k,k_M)}} \mathbf{t} \\ &= \mathbf{H}^{(k,k_M)} \mathbf{t}, \quad k = 1 \dots K, \quad k_M = 1 \dots K_M. \end{aligned} \quad (5)$$

$\mathbf{r}^{(k,k_M)}$ y $\mathbf{H}^{(k,k_M)}$ tienen las dimensiones $(S + W - 1) \times 1$ ó $(S + W - 1) \times (K_B S)$. La matriz de convolución de canal específica de MT y de las antenas receptoras se designa como $\mathbf{H}^{(k,k_M)}$.

Las K_M señales $\mathbf{r}^{(k,k_M)}$ de (5) recibidas en la MT μ_k , $k = 1 \dots K$ pueden disponerse en un vector

$$\mathbf{r}^{(k)} = (\mathbf{r}^{(k,1)\top} \dots \mathbf{r}^{(k,K_M)\top})^\top, \quad k = 1 \dots K, \quad (6)$$

de dimensión $K_M(S + W - 1)$, que se designa como la señal de recepción específica de MT en MT μ_k .

Con las $[K_M(S + W - 1)] \times (K_B S)$ matrices de convolución de canal específicas de MT

$$\mathbf{H}^{(k)} = (\mathbf{H}^{(k,1)\top} \dots \mathbf{H}^{(k,K_M)\top})^\top, \quad k = 1 \dots K, \quad (7)$$

se llega a partir de la señal $\mathbf{r}^{(k)}$ de recepción específica de MT de (6) a

$$\mathbf{r}^{(k)} = \mathbf{H}^{(k)} \mathbf{t}. \quad (8)$$

Las K señales $\mathbf{r}^{(k)}$ de recepción específicas de MT de (6) se combinan para formar la señal de recepción total

$$\begin{aligned} \mathbf{r} &= (\mathbf{r}^{(1)\top} \dots \mathbf{r}^{(K)\top})^\top \\ &= \underbrace{(\mathbf{H}^{(1)\top} \dots \mathbf{H}^{(K)\top})^\top}_{\mathbf{H}} \mathbf{t} \\ &= \mathbf{H} \mathbf{t} \end{aligned} \quad (9)$$

$\mathbf{r}$ y $\mathbf{H}$ de (9) tienen las dimensiones $KK_M(S + W - 1)$ o $[KK_M(S + W - 1)] \times (K_B S)$.

Transmisión y reconocimiento de datos

Se supone que han de transmitirse N símbolos de datos en ráfagas TDMA de la AP a la MT μ_k , $k = 1 \dots K$. Los N símbolos de datos $\mathbf{d}_n^{(k)}$ $k = 1 \dots N$ determinados para la MT μ_k , $k = 1 \dots K$ están dispuestos en el vector de datos

$$\mathbf{d}^{(k)} = (\mathbf{d}_1^{(k)} \dots \mathbf{d}_N^{(k)})^\top \quad (10)$$

de dimensión N . Los K vectores $\mathbf{d}^{(k)}$, $k = 1 \dots K$ de datos se combinan, para formar el vector de datos total

$$\mathbf{d} = (\mathbf{d}^{(1)\top} \dots \mathbf{d}^{(K)\top})^\top = (\mathbf{d}_1 \dots \mathbf{d}_{KN})^\top \quad (11)$$

de dimensión KN. Para la realización de la transmisión de datos desde la AP a la MT, la señal $\underline{t}$ de emisión total de (3) debe expresarse mediante el vector $\underline{d}$ de datos total de (11). Suponiendo una modulación lineal, la operación de modulación puede expresarse como

$$\underline{t} = \underline{M} \underline{d}. \quad (12)$$

La matriz $\underline{M}$ se designa como matriz de modulación y tiene la dimensión $(K_B S) \times (KN)$.

Según las consideraciones indicadas en [3], para cada K MT μ_k , $k = 1 \dots K$ debe determinarse una matriz $\underline{D}^{(k)}$ de demodulación de dimensión $N \times [K_M(S + W - 1)]$ y la matriz de demodulación total de dimensión $(KN) \times [KK_M(S + W - 1)]$ se obtiene entonces como

$$\underline{D} = \text{matriz de bloques diagonal } (\underline{D}^{(1)} \dots \underline{D}^{(K)}). \quad (13)$$

En la figura 1 está representado el modelo de sistema del procedimiento MIMO-JT. En el caso de la JT, la matriz $\underline{M}$ de modulación de (12) se determina teniendo en cuenta la matriz $\underline{D}$ de demodulación de (13) y la matriz $\underline{H}$ de convolución de canal de (9) *a posteriori* de tal manera que es cierto que

$$\underline{d} = \underline{D} \underline{r} = \underline{D} \underline{H} \underline{t} = \underline{D} \underline{H} \underline{M} \underline{d} \quad (14)$$

Según la representación en [1, 2, 3] hay una posibilidad de elección

$$\underline{M} = (\underline{D} \underline{H})^T (\underline{D} \underline{H} (\underline{D} \underline{H})^T)^{-1} \quad (15)$$

En este caso se minimiza para $\underline{H}$ y $\underline{D}$ dadas la energía de emisión total $\|\underline{t}\|^2/2$. Un problema significativo en el diseño de un procedimiento MIMO-JT de este tipo consiste en la determinación de la matriz $\underline{D}$ de demodulación, para lograr un rendimiento del sistema ventajoso.

A continuación se considerará, por motivos de una mejor claridad, un sistema MIMO con sólo un abonado.

En las investigaciones realizadas hasta la fecha de sistemas JT se han considerado antenas múltiples sólo en la estación (AP) de emisión y no en las estaciones (MT) de recepción, es decir las disposiciones de antenas MIMO no se incluyen en las consideraciones. El punto importante a la hora de adoptar este tipo de disposiciones de antena en sistemas JT es la definición de una matriz de demodulación adecuada.

Sistema JT elemental con una disposición de antenas MIMO

En esta sección se considera un sistema JT elemental, en el que la AP se comunica con sólo una MT μ_k , $k \in \{1 \dots K\}$ de un conjunto de K MT μ_k , $k = 1 \dots K$ y en el que un símbolo de datos individual se transmite a esta MT. Esta situación con sólo una MT y sólo un símbolo de datos se indica en lo sucesivo por el índice "0".

La disposición de antenas MIMO considerada consiste en K_B antenas emisoras en la AP y K_M antenas receptoras en cada MT μ_k , $k = 1 \dots K$. Las designaciones y dimensiones de los vectores y matrices introducidos en el transcurso de esta sección se resumen en las tablas 1 y 2.

En cada una de las K_B antenas emisoras se alimenta la señal de emisión específica de las antenas emisoras

$$\underline{t}_0^{(k,k_B)} = \left(t_{0,1}^{(k,k_B)} \dots t_{0,S_0}^{(k,k_B)} \right)^T, \quad k_B = 1 \dots K_B, \quad (16)$$

de dimensión S_0 . Si S_0 es mayor que 1, entonces el símbolo de datos transmitido está ensanchado espectralmente. S_0 se designa por tanto como factor de ensanchamiento. Las K_B señales $t_0^{(k,k_B)}$ de emisión específicas de las antenas de (16) se componen para dar la señal de emisión total

$$\underline{t}_0^{(k)} = \left(\underline{t}_0^{(k,1)T} \dots \underline{t}_0^{(k,K_B)T} \right)^T \quad (17)$$

de dimensión $K_B S_0$.

El canal de radio entre la antena k_B emisora y la antena k_M receptora de la MT μ_k se caracteriza por la respuesta de impulso de canal

$$\underline{h}_i^{(k,k_B,k_M)} = \left(\underline{h}_i^{(k,k_B,k_M)} \dots \underline{h}_W^{(k,k_B,k_M)} \right)^T \quad (18)$$

de dimensión W . Con $h^{(k,k_B,k_M)}$ de (18) puede formarse la matriz de canal específica de MT y de las antenas

$$\begin{aligned} \underline{H}_0^{(k,k_B,k_M)} &= \left(\underline{H}_{0,i,j}^{(k,k_B,k_M)} \right), \quad i = 1 \dots S_0 + W - 1, \quad j = 1 \dots S_0, \\ \underline{H}_{0,i,j}^{(k,k_B,k_M)} &= \begin{cases} \underline{h}_{i-j+1}^{(k,k_B,k_M)} & 1 \leq i - j + 1 \leq W, \\ 0 & \text{si no} \end{cases} \\ k_M &= 1 \dots K_M, \quad k = 1 \dots K, \quad k_B = 1 \dots K_B, \end{aligned} \quad (19)$$

$\underline{H}_0^{(k,k_B,k_M)}$ tiene la dimensión $(S_0 + W - 1) \times S_0$.

Con $t_0^{(k)}$ de (17) y $\underline{H}_0^{(k,k_B,k_M)}$ de (19), la señal recibida en la antena receptora k_M de MT μ_k puede expresarse como vector

$$\begin{aligned} \underline{r}_0^{(k,k_M)} &= \sum_{k_B=1}^{K_B} \underline{H}_0^{(k,k_B,k_M)} \underline{t}_0^{(k,k_B)} \\ &= \underbrace{\left(\underline{H}_0^{(k,1,k_M)} \dots \underline{H}_0^{(k,K_B,k_M)} \right)}_{\underline{H}_0^{(k,k_M)}} \underline{t}_0^{(k)}, \quad k_M = 1 \dots K_M, \end{aligned} \quad (20)$$

de dimensión $S_0 + W - 1$. $\underline{H}_0^{(k,k_M)}$ en (20) tiene la dimensión $(S_0 + W - 1) \times (K_B S_0)$. $\underline{r}_0^{(k,k_M)}$ de (20) es una señal específica de MT y de las antenas de recepción. Con $\underline{r}_0^{(k,k_M)}$ se obtiene la señal total recibida en MT μ_k como

$$\begin{aligned} \underline{r}_0^{(k)} &= \left(\underline{r}_0^{(k,1)T} \dots \underline{r}_0^{(k,K_M)T} \right)^T \\ &= \underbrace{\left(\underline{H}_0^{(k,1)} \dots \underline{H}_0^{(k,K_M)} \right)^T}_{\underline{H}_0^{(k)}} \underline{t}_0^{(k)} \\ &= \underline{H}_0^{(k)} \underline{t}_0^{(k)} \end{aligned} \quad (21)$$

$\underline{r}_0^{(k)}$ y $\underline{H}_0^{(k)}$ de (21) tienen las dimensiones $K_M (S_0 + W - 1)$ o $[K_M (S_0 + W - 1) \times (K_B S_0)]$. En la figura 2 está representada la estructura de la matriz $\underline{H}_0^{(k)}$.

Con $t_0^{(k)}$ de (2) y $\underline{r}_0^{(k)}$ de (21) la energía transmitida por la AP y recibida por la MT μ_k pasan a

$$T_0^{(k)} = \underline{t}_0^{(k)*T} \underline{t}_0^{(k)} \quad (22)$$

0

$$\begin{aligned} R_0^{(k)} &= \mathbf{r}_0^{(k)*T} \mathbf{r}_0^{(k)} \\ &= \mathbf{t}_0^{(k)*T} \mathbf{H}_0^{(k)*T} \mathbf{H}_0^{(k)} \mathbf{t}_0^{(k)}. \end{aligned} \quad (23)$$

Se requiere ahora que se maximice la relación de $R_0^{(k)}/T_0^{(k)}$ de $R_0^{(k)}$ de (23) y $T_0^{(k)}$ de (22) mediante la correcta elección de $\mathbf{t}_0^{(k)}$ de (17). Para lograr esta maximización, $\mathbf{t}_0^{(k)}$ de (17) debería seleccionarse como sigue:

$$\mathbf{t}_0^{(k)} = \arg \max_{\mathbf{t}_0^{(k)}} \left(\frac{\mathbf{t}_0^{(k)*T} \mathbf{H}_0^{(k)*T} \mathbf{H}_0^{(k)} \mathbf{t}_0^{(k)}}{\mathbf{t}_0^{(k)*T} \mathbf{t}_0^{(k)}} \right), \quad (24)$$

lo que corresponde a un cociente de Rayleigh. Con $\mathbf{H}_0^{(k)}$ de (21) la señal $\mathbf{t}_0^{(k)}$ de emisión determinada mediante (24) es el vector $\mathbf{u}_0^{(k)}$ propio de la matriz $\mathbf{H}_0^{(k)T}$, correspondiendo $\mathbf{H}_0^{(k)}$ al valor propio mayor de esta matriz, es decir

$$\mathbf{t}_0^{(k)} = \mathbf{u}_0^{(k)}. \quad (25)$$

Mediante la sustitución de $\mathbf{t}_0^{(k)}$ de (25) en (21) se obtiene la señal de recepción total.

El mejor demodulador para esta señal es un filtro adaptado a la señal, que se dirige con $\mathbf{r}_0^{(k)}$ de (21) hacia la matriz de demodulación

$$\begin{aligned} \mathbf{D}_0^{(k)} &= \mathbf{r}_0^{(k)*T} \\ &= \mathbf{u}_0^{(k)*T} \mathbf{H}_0^{(k)*T} \\ &= (\mathbf{D}_0^{(k,1)} \dots \mathbf{D}_0^{(k,K_M)}) \end{aligned} \quad (27)$$

$$= (\mathbf{D}_{0,1}^{(k)} \dots \mathbf{D}_{0,K_M(S_0+W-1)}^{(k)}) \quad (28)$$

de dimensión $1 \times [K_M (S_0+W - 1)]$, donde las matrices de demodulación específicas de las antenas receptoras

$$\mathbf{D}_0^{(k,k_M)} = \mathbf{r}_0^{(k,k_M)*T}, \quad k_M = 1 \dots K_M, \quad (29)$$

tienen la dimensión $1 \times (S_0 + W - 1)$.

Sistema MT-JT múltiple con varios símbolos con una disposición de antenas MIMO

a) *Modelo de transmisión*

Se considera ahora la situación más real de que la AP se comunique al mismo tiempo con todas las K MT μ_k , $k = 1 \dots K$ y de que en lugar de sólo un símbolo de datos por MT se transmitan $N > 1$ símbolos de datos, estando cada uno de estos símbolos de datos ensanchado espectralmente por el factor S_0 ya introducido en la sección 2.

ES 2 305 470 T3

TABLA 1

Designaciones y dimensiones de los vectores introducidos en la sección 2

Vector	Designación	Dimensión
$\underline{t}_0^{k, kB)}$	Señal de emisión específica de MT y de las antenas emisoras	S_0
$\underline{t}_0^{k)}$	Señal de emisión específica de MT	$K_B S_0$
$\underline{h}^{k, kB, kM)}$	Respuesta de impulso de canal específica de MT y de las antenas	W
$\underline{r}_0^{k, kM)}$	Señal de recepción específica de MT y de las antenas receptoras	$S_0 + W - 1$
$\underline{r}_0^{k)}$	Señal de recepción específica de MT	$K_M (S + W - 1)$
$\underline{u}_0^{k)}$	Vector propio de $\underline{H}^{k) \times r} \underline{H}^{k)}$ perteneciente al mayor valor propio	$K_B S_0$

TABLA 2

Designaciones y dimensiones de las matrices introducidas en la sección 2

Matriz	Designación	Dimensión
$\underline{H}_0^{k, kB, kM)}$	Matriz de canal específica de MT y de las antenas	$(S_0 + W - 1) \times S_0$
$\underline{H}_0^{k, kM)}$	Matriz de canal específica de MT y de las antenas receptoras	$(S_0 + W - 1) \times (K_B S_0)$
$\underline{H}_0^{k)}$	Matriz de canal específica de MT	$[K_M (S_0 + W - 1)] \times (K_B S_0)$
$\underline{D}_0^{k)}$	Matriz de demodulación específica de MT	$1 \times [K_M (S_0 + W - 1)]$
$\underline{D}_0^{k, kM)}$	Matriz de demodulación específica de MT y de las antenas receptoras	$1 \times (S_0 + W - 1)$

Al igual que antes, la AP está equipada con K_B antenas emisoras y cada MT μ_k presenta K_M antenas receptoras. A continuación se adaptan en primer lugar las descripciones de señales introducidas en la sección 2 a esta nueva situación. A continuación basándose en las matrices $D_0^{(k)}$ de demodulación de (27) se crea una matriz $\underline{D}$ de demodulación. Las designaciones y dimensiones de los vectores y matrices introducidos en el transcurso de la sección 3 se resumen en las tablas 3 ó 4.

En lugar de $t_0^{(k,kB)}$ de (16) se obtiene la señal de emisión específica de las antenas emisoras

$$\underline{t}^{(k_B)} = \left(t_1^{(k_B)} \dots t_S^{(k_B)} \right)^T, \quad k_B = 1 \dots K_B, \quad (30)$$

de dimensión

$$S = NS_0, \quad (31)$$

y en lugar de $t_0^{(k)}$ de (17) se obtiene la señal de emisión total

$$\underline{t} = \left(\underline{t}^{(1)T} \dots \underline{t}^{(K_B)T} \right)^T \quad (32)$$

de dimensión $K_B S$.

En lugar de $H_0^{(k,kB,kM)}$ de (19), se obtiene la matriz de canal específica de MT y de las antenas

$$\begin{aligned} \underline{H}^{(k,k_B,k_M)} &= \left(\underline{H}_{i,j}^{(k,k_B,k_M)} \right), \quad i = 1 \dots S + W - 1, \quad j = 1 \dots S, \\ \underline{H}_{i,j}^{(k,k_B,k_M)} &= \begin{cases} h_{i-j+1}^{(k,k_B,k_M)} & 1 \leq i - j + 1 \leq W, \\ 0 & \text{si no,} \end{cases} \\ k_M &= 1 \dots K_M, \quad k = 1 \dots K, \quad k_B = 1 \dots K_B. \end{aligned} \quad (33)$$

$H_0^{(k,kB,M)}$ de (33) tiene la dimensión $(S + W - 1) \times S$.

En lugar de $r_0^{(k,kM)}$ de (20) se obtiene la señal de recepción específica de MT y las antenas de recepción con $\underline{r}$ de (32) y $H_0^{(k,kB,M)}$ de (33)

$$\begin{aligned} \underline{r}^{(k,k_M)} &= \sum_{k_B=1}^{K_B} \underline{H}^{(k,k_B,k_M)} \underline{t}^{(k_B)} \\ &= \underbrace{\left(\underline{H}^{(k,1,k_M)} \dots \underline{H}^{(k,K_B,k_M)} \right)}_{\underline{H}^{(k,k_M)}} \underline{t}. \end{aligned} \quad (34)$$

$\underline{r}^{(k,kM)}$ y $\underline{H}^{(k,kM)}$ de (34) tienen las dimensiones $(S + W - 1)$ o $(S + W - 1) \times (K_B S)$.

Con $\underline{H}^{(k,kM)}$ de (34) y $\underline{t}$ de (32) la señal total recibida por la MT μ_k puede escribirse como sigue:

$$\begin{aligned} \underline{r}^{(k)} &= \left(\underline{r}^{(k,1)T} \dots \underline{r}^{(k,K_M)T} \right)^T \\ &= \underbrace{\left(\underline{H}^{(k,1)T} \dots \underline{H}^{(k,K_M)T} \right)^T}_{\underline{H}^{(k)}} \underline{t} \\ &= \underline{H}^{(k)} \underline{t}. \end{aligned} \quad (35)$$

$\underline{r}^{(k)}$ y $\underline{H}^{(k)}$ de (35) tienen las dimensiones $K_M (S + W - 1)$ o $[K_M (S + W - 1)] \times K_B S$. Como ampliación de las consideraciones en la sección precedente se introduce ahora una señal de recepción total

$$\begin{aligned}\underline{r} &= \left(\underline{r}^{(1)T} \dots \underline{r}^{(K)T} \right)^T \\ &= \left(\underline{H}^{(1)T} \dots \underline{H}^{(K)T} \right)^T \\ &= \underline{H} \underline{t}\end{aligned}\quad (36)$$

con las K señales de recepción $\underline{r}^{(k)}$ de (34) de todas las K MT μ_k , $k = 1 \dots K$. $\underline{r}$ y $\underline{H}$ de (35) tienen las dimensiones $KK_M (S + W - 1)$ o $[KK_M (S + W - 1)] \times K_B S$.

b) *Determinación de la matriz $\underline{D}$ de demodulación*

Según las consideraciones indicadas en [2] debe determinarse para cada una de las K MT μ_k , $k = 1 \dots K$ una matriz $\underline{D}^{(k)}$ de demodulación de dimensión $N \times [K_M (S + W - 1)]$ y entonces se obtiene la matriz de demodulación total de dimensión $(KN) \times [KK_M (S + W - 1)]$ como

$$\underline{D} = \text{matriz de bloques diagonal } \left(\underline{D}^{(1)} \dots \underline{D}^{(K)} \right). \quad (37)$$

TABLA 3

Designaciones y dimensiones de los vectores introducidos en esta sección

Vector	Designación	Dimensión
$\underline{t}^{(KB)}$	Señal de emisión específica de las antenas emisoras	$S = NS_0$
$\underline{t}$	Señal de emisión total	$K_B S$
$\underline{r}^{(k, KM)}$	Señal de recepción específica de MT y las antenas receptoras	$S + W - 1$
$\underline{r}^{(k)}$	Señal de recepción específica de MT	$K_M (S + W - 1)$
$\underline{r}$	Señal de recepción total	$KK_M (S + W - 1)$
$\underline{d}$	Vector de datos total	KN

TABLA 4

Designaciones y dimensiones de las matrices introducidas en esta sección

Matriz	Designación	Dimensión
$\underline{H}^{k, kB, kM}$	Matriz de canal específica de MT y las antenas	$(S + W - 1) \times S$
$\underline{H}_0^{k, kM}$	Matriz de canal específica de MT y las antenas de recepción	$(S + W - 1) \times (K_B S)$
$\underline{H}^{(k)}$	Matriz de canal específica de MT	$[K_M (S + W - 1)] \times (K_B S)$
$\underline{H}$	Matriz de canal total	$[K K_M (S + W - 1)] \times (K_B S)$
$\underline{D}^{(k)}$	Matriz de demodulación específica de MT	$N \times [K_M (S + W - 1)]$
$\underline{D}$	Matriz de demodulación total	$(KN) \times [K K_M (S + W - 1)]$
$\underline{B}$	Matriz de sistema	$(KN) \times (K_B S)$
$\underline{M}$	Matriz de modulación	$(K_B S) \times (KN)$

El punto decisivo de la propuesta para construir la matriz $D^{(k)}$ de demodulación teniendo en cuenta las propiedades de canal se basa en las matrices $D_0^{(k)}$ de demodulación introducidas en (27). Las N filas de $D^{(k)}$ se obtienen como versiones desplazadas de $D_0^{(k)}$ de (27) conforme al procedimiento

$$D_{i,j}^{(k)} = \begin{cases} D_{0,p}^{(k)}, & 1 \leq (j - (i - 1)S_0) \bmod (S_0 N + W - 1) \leq S_0 + W - 1, \\ 0 & \text{si no,} \end{cases} \quad (38)$$

designando

$$p = (j - (i - 1)S_0) \bmod (S_0 N + W - 1) + (S_0 + W - 1) \cdot \left\lfloor \frac{j}{S_0 N + W - 1} \right\rfloor, \quad (39)$$

y $\lfloor \cdot \rfloor$ la parte de número entero. La estructura de $D^{(k)}$ de (38) está representada en la figura 3.

ES 2 305 470 T3

Con las K matrices $\underline{D}^{(k)}$ de (38) puede formarse $\underline{D}$ de (37). Con $\underline{D}$ de (37) y $\underline{H}$ de (36) se obtiene la matriz de sistema

$$\underline{B} = \underline{D} \underline{H} \quad (40)$$

de dimensión $KN \times K_B S$. Tal como se representa en [2], ahora puede obtenerse la señal $\underline{t}$ de emisión total de (22) y el vector $\underline{d}$ de datos total [2] de dimensión KN como

$$\begin{aligned} \underline{t} &= \underbrace{\underline{B}^T (\underline{B} \underline{B}^T)^{-1}}_{\underline{M}} \underline{d} \\ &= \underline{M} \underline{d} \end{aligned} \quad (41)$$

teniendo la matriz $\underline{M}$ de demodulación de (41) la dimensión $(K_B S) \times (KN)$.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la transmisión de información en un sistema de comunicación por radio con al menos una estación (AP) de emisión y al menos dos estaciones (MT) de recepción, estando unidas entre sí la estación (AP) de emisión y las estaciones (MT) de recepción a través de una interfaz de comunicación por radio, y presentando la estación (AP) de emisión una antena emisora con K_B elementos de antena con $K_B \geq 2$ y las estaciones (MT) de recepción en cada caso una antena receptora con K_M elementos de antena con $K_M \geq 2$, generándose por los elementos de antena de la antena emisora de la estación (AP) de emisión señales de emisión emitidas en un proceso común y adaptándose con respecto a la energía de emisión que ha de aplicarse durante la emisión y detectándose por los elementos de antena de las antenas receptoras de las estaciones (MT) de recepción señales de recepción recibidas en un procesamiento de señales lineal mediante una demodulación teniendo en cuenta propiedades de transmisión espaciales y temporales entre la estación (AP) de emisión y la respectiva estación (MT) de recepción, **caracterizado** porque una señal de emisión específica de la estación de recepción $t_0^{(k)}$ corresponde a un cociente de Rayleigh.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado** porque las señales individuales para los elementos de antena de la antena emisora de la estación (AP) de emisión se calculan con ayuda de una matriz $\underline{M}$ de modulación antes de la emisión.

3. Procedimiento según la reivindicación 2, **caracterizado** porque un vector de señal de emisión $\underline{t} = \underline{M} \cdot \underline{d}$ se genera mediante una modulación lineal de al menos un vector $\underline{d}$ de datos que ha de transmitirse con la matriz $\underline{M}$ de modulación.

4. Procedimiento según una reivindicación anterior, **caracterizado** porque en el procesamiento de señales lineal del lado de recepción se utilizan matrices $\underline{D}$ de demodulación específicas de la estación de recepción.

5. Procedimiento según una reivindicación anterior, **caracterizado** porque cada estación (AP) de emisión y cada estación (MT) de recepción está unida a través de al menos un canal de radio **caracterizado** por una matriz $\underline{H}$ de canal.

6. Procedimiento según la reivindicación 2, **caracterizado** porque la matriz de sistema $\underline{B} = \underline{D} \cdot \underline{H}$ contenida en la matriz $\underline{M}$ de modulación viene dada por el producto de una matriz $\underline{D}$ de demodulación y matriz $\underline{H}$ de canal.

7. Sistema de comunicación por radio, especialmente para la realización de un procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, que comprende al menos una estación (AP) de emisión y al menos dos estaciones (MT) de recepción, estando unidas entre sí la estación (AP) de emisión y las estaciones (MT) de recepción a través de una interfaz de comunicación por radio, presentando la estación (AP) de emisión una antena emisora con K_B elementos de antena con $K_B \geq 2$ y las estaciones (MT) de recepción en cada caso una antena receptora con K_M elementos de antena con $K_M \geq 2$, estando presentes en la estación (AP) de emisión medios para generar señales de emisión emitidas por los elementos de antena de la antena emisora de la estación (AP) de emisión en un proceso común y para adaptarlas en cuanto a la energía de emisión que ha de aplicarse durante la emisión, y en las estaciones (MT) de recepción en cada caso medios para detectar señales de recepción recibidas por los elementos de antena de las antenas receptoras de las estaciones (MT) de recepción en un procesamiento de señales lineal mediante una demodulación teniendo en cuenta propiedades de transmisión espaciales y temporales entre la estación (AP) de emisión y la estación (MT) de recepción, **caracterizado** porque el sistema de comunicación por radio está equipado de tal manera que una señal de emisión $t_0^{(k)}$ específica de la estación de recepción corresponde a un cociente de Rayleigh.

FIG 1

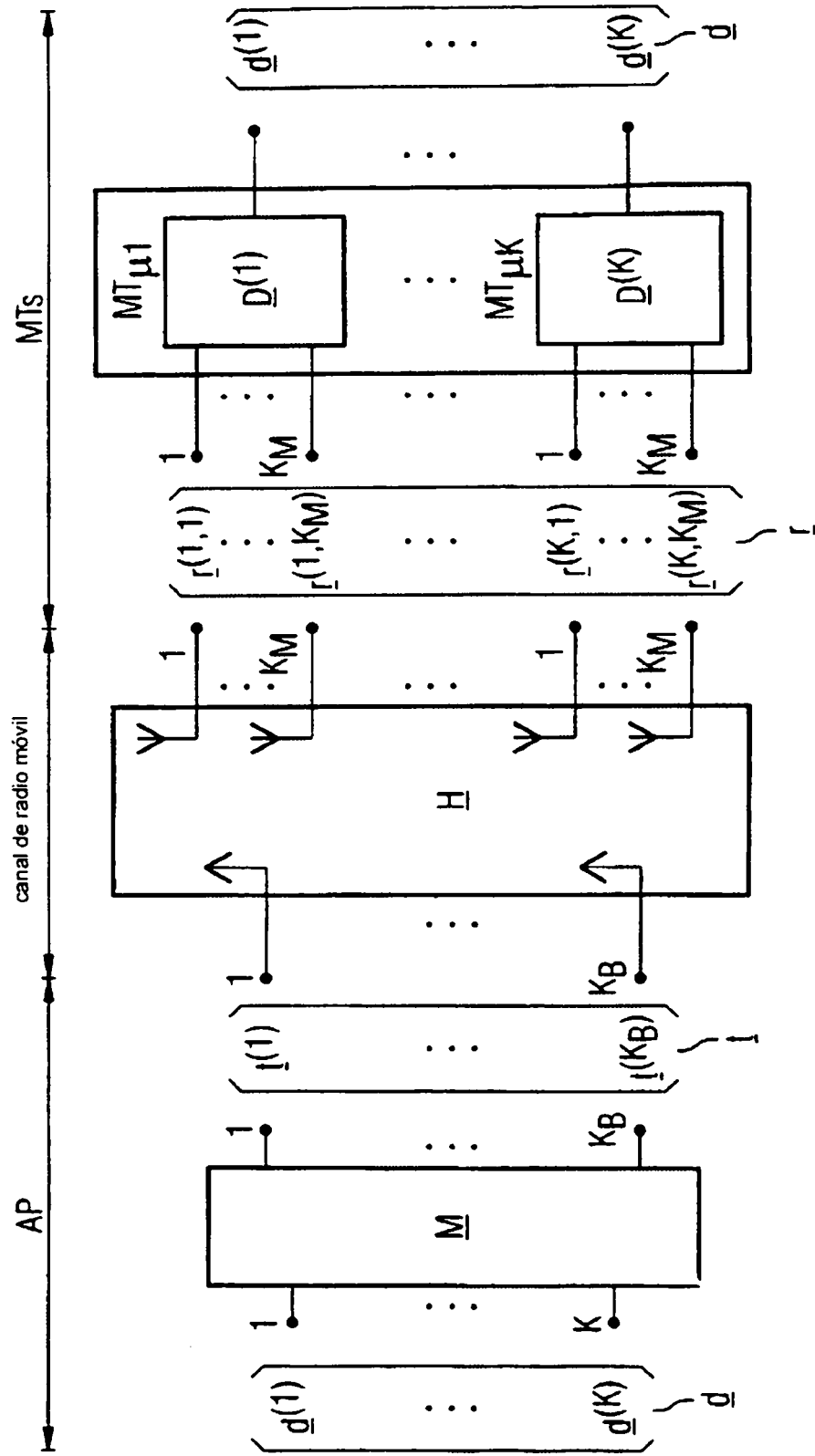


FIG 2

