

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 386 344**

51 Int. Cl.:  
**H04B 1/707** (2011.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **01967410 .0**
- 96 Fecha de presentación: **31.08.2001**
- 97 Número de publicación de la solicitud: **1221206**
- 97 Fecha de publicación de la solicitud: **10.07.2002**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para demodular señales que provienen de múltiples usuarios**

30 Prioridad:  
**01.09.2000 FR 0011198**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**17.08.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**17.08.2012**

73 Titular/es:  
**THALES  
173, BOULEVARD HAUSSMANN  
75008 PARIS, FR**

72 Inventor/es:  
**ROUMY, Aline;  
PIREZ, Didier y  
FIJALKOW, Inbar**

74 Agente/Representante:  
**Carpintero López, Mario**

**ES 2 386 344 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 dispositivo para demodular señales que provienen de múltiples usuarios

La invención se refiere a un procedimiento y a un dispositivo de ecualización y de decodificación de señales digitales que provienen de varios usuarios.

5 La invención se aplica en un contexto CDMA (abreviatura de *code division multiple access*) con codificación de canal.

Esta se aplica en particular para los sistemas de radio móviles de tercera generación.

En transmisión digital, un receptor puede verse como una sucesión de varias funciones elementales que realizan, cada una, un tratamiento específico como el filtrado, la demodulación, la ecualización, la decodificación, etc.

10 La técnica CDMA es una técnica de acceso múltiple que estará en la base de los sistemas de radio móviles de tercera generación.

Esta técnica está basada en el principio del ensanchamiento de espectro: la transmisión se realiza con un flujo mucho más elevado de lo que es necesario para cada usuario, multiplicando los símbolos útiles mediante unas secuencias de símbolos de banda ancha denominadas « secuencias de ensanchamiento ».

15 Todas las transmisiones se realizan a continuación en la misma frecuencia y en los mismos instantes, la separación entre los usuarios obteniéndose mediante unas secuencias de ensanchamiento diferentes.

En las primeras versiones de sistemas CDMA, la demodulación se realiza usuario por usuario. La operación de « desensanchamiento » que consiste en multiplicar de nuevo la señal recibida por la secuencia de ensanchamiento permite devolver a la señal a su banda útil original, mientras que las señales de los otros usuarios se mantienen ensanchadas; estos « otros usuarios » se ven como un nivel de ruido y la ganancia de tratamiento, denominada « ganancia de ensanchamiento » es igual a la relación entre el flujo útil y el flujo de transmisión. Es esta ganancia de tratamiento lo que permite que varios usuarios cohabiten en la misma banda.

20 Algunas técnicas más recientes intentan demodular todos los usuarios de forma conjunta, considerando las señales que provienen de los otros usuarios de otro modo que como ruido. Estas técnicas, aunque a menudo más complejas, mejoran de manera considerable los resultados con relación a la técnica estándar y, en particular, estas permiten resolver el efecto conocido por la expresión « near-far effect » principal inconveniente que se deriva del hecho de que, si todos los móviles emiten a la misma potencia, un emisor próximo a la estación de base se apropia para sí solo de la casi totalidad de la capacidad de acceso múltiple en la célula impidiendo que los otros comuniquen. Para evitar esto, los sistemas clásicos necesitan un control de potencia eficaz en cada emisor para que las señales se reciban con la misma potencia en la estación de base.

25 Se conocen diferentes técnicas de decodificación de la técnica anterior.

Por ejemplo, los turbo-códigos son unos eficaces códigos correctores de errores. La versión básica utiliza dos códigos convolucionales simples de los cuales uno recibe los datos que hay que emitir y el otro los datos pasados por un entrelazador. A continuación las salidas de estos dos códigos se multiplexan. En la recepción, se itera un determinado número de veces entre la decodificación del primero y del segundo código, cada decodificación suministrando unas informaciones ponderadas sobre los bits útiles para la decodificación siguiente. Las decodificaciones sucesivas mejoran el conocimiento que se tiene de los bits que hay que determinar. Este procedimiento iterativo permite alcanzar, con unas decodificaciones elementales muy simples, unos resultados que se consiguen con códigos mucho más complejos.

35 En la turbo-ecualización o turbo-detección, se retoma el principio de tratamiento iterativo utilizando un ecualizador y un decodificador separados por un entrelazador. Este principio se aplica a la demodulación en un canal selectivo en frecuencia que necesita como primera etapa de tratamiento un ecualizador. Mediante la iteración entre unas etapas de ecualización y unas etapas de decodificación, el ecualizador se beneficia de informaciones ligadas al código corrector de errores a las que normalmente no tiene acceso. De este modo se intentan conseguir los rendimientos de la decodificación conjunta óptima aplicando la ecualización más el código corrector, que se muestra demasiado complejo de aplicar por la presencia del entrelazador.

40 El turbo-CDMA aplica el principio « turbo » a las transmisiones CDMA codificadas. Se realizan varias iteraciones entre un demodulador multiusuario y un decodificador corrector de errores.

Ya se han propuesto diferentes estructuras para mejorar la recepción de las señales.

50 La patente FR 95/01603 da a conocer una estructura de ecualización y de decodificación conjuntas con iteración en la recepción. No obstante, está limitado a un monousuario. El ecualizador utilizado es un ecualizador MAP (abreviatura de Maximum a Posteriori) habitual en el campo técnico de los turbo-códigos o de los turbo-ecualizadores.

La patente FR 2.763.978 describe un receptor en el que la ecualización se realiza de la siguiente manera: para la primera iteración se utiliza un ecualizador lineal y a continuación un anulador de interferencia para las siguientes. Aunque esta estructura se muestra menos compleja que la que se describe en la patente FR 95/01603, sin embargo no permite trabajar en unas condiciones óptimas.

5 Otros documentos, por ejemplo:

- el artículo de P. D. Alexander, M. C. Reed, J. A. Asenstorfer, C. B. Schlegel, « Iterative multiuser interference reduction: Turbo CDMA », IEEE Trans. Comm., vol. 47, nº. 7, págs. 1.008-1.014, julio de 1999, o también
- el artículo de J. Hagenauer, « The Turbo principle: Tutorial introduction and state of the art », Int. Symp. on Turbocodes, Brest, 1997, págs. 1-11,

10 describen unas estructuras de receptores turbo-CDMA basados en unos ecualizadores MAP. Estos receptores son unas extensiones en el Turbo-detector multiusuario. Los tratamientos se realizan en paralelo y de manera fija para cada usuario, en efecto, en cada iteración los tratamientos utilizan los resultados de la iteración anterior.

15 El documento de X. Wang y H. V. Poor que tiene por título « Iterative (turbo) soft interference cancellation and decoding for coded CDMA », IEEE Trans. Comm., vol. 47, nº. 7, págs. 1.046-1.061, julio de 1999, da a conocer un principio de receptor turbo-CDMA con anulación de interferencia a base de filtros. Este ecualizador contiene una generalización del anulador de interferencia que se utiliza en turbo-ecualización multiusuario, seguido de un filtrado de Wiener. El principio implica una cierta complejidad ya que precisa la inversión de una matriz en cada nuevo símbolo que hay que tratar.

20 El artículo de Duel-Hallen "A family of multi-user decision feedback detection for asynchronous code-division multiple-access channels », IEEE transactions on communications, US, IEEE inc. New-York, vol. 42, nº. 2/04, págs. 01, 1 de febrero de 1995, da a conocer unos receptores de flujo continuo, en forma de ecualizadores con decisión realimentada. El principio consiste en eliminar la interferencia de los símbolos pasados ya determinados, de acuerdo con un método utilizado en un DFE ordinario, y trabajando con varios usuarios. Se puede utilizar en el instante  $n$ , las decisiones sobre los usuarios ya tratados en el instante  $n$ .

25 Por último el artículo de A. Klein, G. Kawas Kaleh, P. W. Baier, «Zero forcing and minimum mean-square-error equalization for multiuser detection in CDMA channels», IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. 45, nº. 2, págs. 276-287, marzo de 1996, da a conocer unas estructuras de ecualizadores multiusuarios sin la decodificación correctora de errores.

30 El principio de la invención es proporcionar una nueva estructura que se implanta, en particular, en un sistema turbo-CDMA. La idea es demodular los usuarios unos después de otros, una demodulación estando seguida de una decodificación de errores. Al término de una iteración para un usuario dado, que corresponde a una ecualización y a una decodificación sobre los símbolos del usuario, se dispone de una información fiable sobre los símbolos del usuario en cuestión. Antes de demodular un usuario, una primera etapa consiste en eliminar de la señal recibida la contribución del conjunto de las interferencias de los usuarios demodulados antes de este, que se determinan a partir de las informaciones sobre los símbolos determinados. Los usuarios que aun no se han demodulado se consideran como ruido cuya estructura se conoce, en particular, gracias al conocimiento de las secuencias de ensanchamiento o de los parámetros de codificación de la señal en la emisión.

35 La invención se refiere también a un procedimiento de ecualización y de decodificación que comprende una etapa en la que los usuarios se ordenan antes de tratarlos.

40 La invención se refiere a un dispositivo de ecualización y de decodificación de señales digitales de  $K$  usuarios, que comprende  $K$  módulos, cada módulo comprendiendo un ecualizador conectado a un decodificador. Este se caracteriza porque:

45 un ecualizador de rango  $k$  está conectado a varios decodificadores de rango inferior entre 1 y  $k-1$ , un ecualizador de rango  $k$  recibe los símbolos útiles de los diferentes decodificadores, un  $n$  ecualizador puede comprender un primer bloque que recibe al menos la señal que hay que demodular del usuario  $k$  y las estimadas de los símbolos asociados a los usuarios 1 a  $k-1$  y un segundo bloque adaptado para eliminar la contribución de los símbolos pasados ya demodulados;

50 el primer bloque recibe, por ejemplo, en una  $i$ -ésima iteración, al menos la señal del usuario  $k$  que hay que demodular, al menos las estimadas de los símbolos asociados a los usuarios 1 a  $k-1$  que corresponden a la  $i$ -ésima iteración y las estimadas de los símbolos de los usuarios  $k+1$  a  $K$  que se obtienen en la  $(i-1)$ -ésima iteración y el segundo bloque las estimadas de los símbolos del usuario  $k$  que se obtienen en la  $(i-1)$ -ésima iteración, y

el dispositivo puede comprender un dispositivo que permite determinar un criterio para ordenar los usuarios.

55 La invención se refiere a un procedimiento de ecualización y de decodificación de señales digitales de  $K$  usuarios en un receptor que comprende varios módulos, que comprenden cada uno al menos un ecualizador seguido de un decodificador. Se caracteriza porque comprende al menos las etapas siguientes:

- a) en la iteración 1, para el usuario de índice 1 transmitir la señal que hay que demodular a un ecualizador de rango 1 y a continuación a un decodificador de rango 1 con el fin de obtener los símbolos modulados estimados del usuario  $k$ , y
- b) para los usuarios  $k$  con un índice distinto de 1, transmitir la señal que hay que demodular a un ecualizador de rango  $k$  que recibe también los diferentes símbolos modulados estimados procedentes de al menos uno de los decodificadores de rango  $(k-1)$ , el procedimiento comprende también varias iteraciones y para una iteración distinta de la primera iteración, la etapa b) consiste durante una  $i$ ésima iteración en transmitir a un primer bloque del ecualizador de rango  $k$  los símbolos del usuario  $k$  que hay que demodular, las estimadas de los símbolos de los usuarios 1 a  $k-1$  que se obtienen durante la  $i$ ésima iteración y las estimadas de los símbolos de los usuarios  $k+1$  a  $K$  que se obtienen durante la  $(i-1)$ ésima iteración y a un segundo bloque del ecualizador las estimadas de los símbolos del usuario  $k$  procedentes de la  $(i-1)$ ésima iteración, y el procedimiento comprende una etapa en la que se ordenan los usuarios  $k$  antes de tratarlos de acuerdo con un criterio que tiene en cuenta la potencia ligada al usuario  $k$  corregida de la contribución de las interferencias entre símbolos ligado a sí mismo y a los demás usuarios.
- El dispositivo y el procedimiento de acuerdo con la invención se aplican para demodular una señal en un marco de acceso múltiple con distribución espacial y/o una distribución por códigos de tipo CDMA.
- El procedimiento de decodificación de acuerdo con la invención y el dispositivo o receptor adaptado presentan en particular como ventaja que se liberan de la interferencia entre símbolos de manera más eficaz que la técnica anterior.
- El procedimiento y la estructura del receptor también se muestran menos complejos que algunos métodos de la técnica anterior que utilizan ecualizadores de tipo MAP (máximo a posteriori) o filtros de tipo Wiener que precisan una inversión de matriz mediante la estimación de símbolo.
- Se mostrarán otras características y ventajas de la invención en la lectura de la descripción que se da a continuación a título ilustrativo y en absoluto excluyente en relación con las figuras en las que:
- la figura 1 esquematiza una cadena de codificación de las señales de  $K$  usuarios que comparten un canal de propagación;
  - la figura 2 representa un ejemplo de estructura de un receptor que permite esquematizar el problema en la recepción;
  - la figura 3 representa las etapas y los dispositivos que utiliza la invención;
  - la figura 4 representa una matriz que modeliza la señal;
  - la figura 5 representa un ejemplo de estructura del ecualizador que se utiliza en el procedimiento de acuerdo con la invención; y
  - la figura 6 otra variante de aplicación de la invención.
- La figura 1 representa una cadena de codificación de las señales que emiten  $K$  usuarios que comparten un mismo canal de propagación y que utilizan unas formas de onda con el espectro ensanchado por medio de códigos, cada usuario designado por  $k$ , con  $k$  variando de 1 a  $K$ , posee su propio código. Los usuarios se consideran como usuarios asíncronos que acceden a un mismo canal de propagación selectivo en frecuencia para transmitir información.
- La señal digital asociada al usuario  $k$  se codifica por medio de un código corrector 1 antes de transmitirse a un entrelazador 2. Estos dos bloques funcionales pueden ser idénticos o bien diferentes para cada usuario  $k$ . El código corrector es, por ejemplo, de tipo convolucional, no obstante no siendo obligatorio.
- La señal codificada se « ensancha » a continuación por medio de una secuencia de ensanchamiento  $3_k$ , el índice  $k$  permite designar la secuencia de ensanchamiento específica para cada usuario  $k$ . Las secuencias de ensanchamiento diferentes para cada usuario garantizan de este modo la discriminación entre ellos. Una señal modulada va a ver un canal de propagación  $4_k$  diferente para cada usuario. Esto corresponde de manera tradicional al enlace ascendente de un sistema de radio móvil celular. La noción de canal de propagación integra, por ejemplo, los ensanchamientos temporales eventuales que son el resultado de una ausencia de sincronización entre los  $K$  usuarios.
- El receptor ve la suma de las diferentes contribuciones de las señales procedentes de los diferentes canales de propagación. A estas señales se puede añadir ruido térmico ligado a las etapas de entrada del receptor que se describe a continuación o también de la interferencia que proviene de señales emitidas en la misma banda, por ejemplo los móviles de células vecinas que utilizan la misma frecuencia.
- En aras de la simplificación en la descripción, las operaciones de modulación, tradicionalmente la conformación mediante un semifiltro de Nyquist y la transmisión mediante portadora, que conoce el experto en la materia, no están representadas en la figura 1.
- La figura 2 muestra un esquema muy general de un receptor.
- La señal compuesta del conjunto de los símbolos de todos los  $K$  usuarios llega a un ecualizador 6 multiusuarios

antes de transmitirse a un dispositivo de decodificación 7 que comprende uno o varios decodificadores  $7_k$ .

5 El ecualizador 6 recibe la señal de los diferentes usuarios, así como las informaciones que proporciona el bloque de decodificación 7 sobre los símbolos codificados por medio de un enlace 8, excepto cuando no se ha realizado ninguna decodificación. El ecualizador 6 proporciona en la salida unas informaciones ponderadas sobre los símbolos codificados que utilizan estos dos tipos de información, de manera tradicional las probabilidades de emisión de los diferentes símbolos posibles.

10 Las funciones de desentrelazamiento y de conformación de las informaciones ponderadas entre el ecualizador y los decodificadores no están representadas en la figura. Estas permiten, por ejemplo, traducir las informaciones sobre los símbolos 8-arios en probabilidades en los bits en el caso de que la modulación sea de 8 estados y el código binario.

15 El o los decodificadores  $7_k$  reciben las informaciones del ecualizador y utilizan las informaciones ligadas al código corrector de errores con el fin de proporcionar informaciones más fiables sobre los símbolos útiles y, por lo tanto, los símbolos codificados. Por ejemplo, para un código convolucional, el decodificador puede ser del tipo « MAP » (maximum a posteriori) y calcula las probabilidades sobre los símbolos útiles a partir del conocimiento de las probabilidades sobre los símbolos codificados.

20 Las informaciones ponderadas se vuelven a entrelazar a continuación y se vuelven a conformar para reinyectarlas en el bloque « ecualizador ». La etapa de entrelazamiento de los datos se realiza de acuerdo con un método habitual para el experto en la materia y no se detallará. Una forma de proceder consiste, por ejemplo, en escribir los datos columna por columna en una matriz con un tamaño apropiado y en leer esta matriz línea por línea, por ejemplo. Esto permite de manera ventajosa distribuir los eventuales errores durante la etapa de lectura de la señal. La conformación se realiza de acuerdo con unos métodos clásicos y que el experto en la materia conoce, lo que explica porque no están detallados.

25 La figura 3 representa una estructura de receptor 10 de acuerdo con la invención que comprende varios ecualizadores  $11_k$  y varios decodificadores  $12_k$ , el índice  $k$  permite identificar un usuario. El receptor comprende, por lo tanto, tantos módulos, formados cada uno por un ecualizador y un decodificador, como usuarios hay.

La señal que comprende los símbolos de todos los usuarios la recibe cada ecualizador  $11_k$  del receptor 10.

Etapa a)

30 El ecualizador de rango 1 con la referencia  $11_1$  recibe, por ejemplo, las muestras de la señal que hay que decodificar, sin información a priori sobre sus propios símbolos o sobre los símbolos de los otros usuarios. La información que procede de esta primera ecualización se transmite al decodificador de rango 1 designado por  $12_1$  que proporciona una información más fiable sobre los símbolos útiles y, por lo tanto, los símbolos modulados del usuario.

Etapa b)

35 La información fiable sobre los símbolos útiles que se obtiene para el usuario 1 se transmite a continuación al ecualizador de rango 2,  $11_2$ , que recibe también las muestras de la señal recibida que hay que decodificar. El ecualizador permite, de este modo, tener en cuenta la interferencia ligada al usuario de rango 1, mientras que aun no se conoce nada a priori sobre los símbolos de los usuarios de rango superior o igual a 2. La información de esta segunda ecualización se transmite a continuación al decodificador de rango 2,  $12_2$ , que va a proporcionar las informaciones sobre los símbolos útiles del usuario de rango 2.

40 La etapa b) se ejecuta tantas veces como usuarios de rango distinto de 1 hay, por lo tanto  $K-1$  veces.

45 Generalizando, para el usuario de índice  $k$ , las muestras de la señal se transmiten al ecualizador de rango  $k$ ,  $11_k$ , que también recibe los símbolos útiles relativos a los usuarios de rango 1 a  $k-1$ , procedentes de diferentes decodificadores  $12_1, \dots, 12_{k-1}$ . De este modo el ecualizador  $11_k$  tiene en cuenta las interferencias ligadas a los usuarios de rango 1 a  $(k-1)$  para la decodificación de la señal ligada al usuario  $k$ . La información procedente de esta  $k$ ésima ecualización se transmite a continuación al decodificador de rango  $k$ ,  $12_k$ , que va a proporcionar informaciones sobre los símbolos útiles del usuario de rango  $k$ .

El último ecualizador posee informaciones sobre todos los demás usuarios.

50 De acuerdo con una variante de realización de la invención, el ecualizador utilizado presenta una estructura en dos partes. La primera parte permite sustraer, para un usuario  $k$  considerado, la participación de los usuarios de rango 1 a  $k-1$  y la segunda parte corresponde a una estructura de ecualizador con decisión realimentada, en inglés DFE, abreviatura de « Decision Feedback Equaliser » que presenta unas características que se dan a continuación.

La señal que recibe el ecualizador se puede modelizar de la manera que se describe a continuación.

Se supone que un bloque de muestras recibidas se puede ordenar con una forma vectorial  $Z$ . Este bloque de

muestras procede de la contribución de los K usuarios, cada uno de estos contribuyendo con N símbolos codificados.

La contribución de un usuario cualquiera de índice k a la señal recibida se obtiene, sin tener en cuenta las operaciones de modulación sobre la portadora, mediante las operaciones siguientes:

- 5
  - ensanchamiento de un factor Q de cada símbolo codificado;
  - conformación, por ejemplo mediante un semifiltro de Nyquist;
  - filtrado por el canal de propagación mediante la introducción de trayectos múltiples, por ejemplo;
  - filtrado anti-replegamiento en la recepción; y
  - muestreo.
- 10 La señal del usuario k antes del muestreo se escribe, por ejemplo, de acuerdo con la ecuación (1) siguiente

$$z_k(t) = \sum_n a_{n,k} \sum_{q=1}^Q c_{q,k} \cdot (h \otimes p_k \otimes f)(t - qT_c - nT_s) \quad (1)$$

En esta ecuación, h representa el filtro de conformación en la emisión,  $p_k(t)$  el canal de propagación específico para un usuario k, f(t) el filtro de recepción antes del muestreo,  $T_c$  el periodo de chip inverso de la velocidad de modulación y  $T_s$  el periodo de símbolo antes del ensanchamiento. Los símbolos  $a_{n,k}$  son los símbolos codificados del usuario k y los símbolos  $c_{q,k}$  son los chips de la secuencia de ensanchamiento, n corresponde al índice temporal del símbolo codificado y q al índice de los chips o símbolos de la secuencia de ensanchamiento.

El símbolo



representa la convolución.

- 20 Si se plantea

$$s_k(t) = \sum_{q=1}^Q c_{q,k} \cdot (h \otimes p_k \otimes f)(t - qT_c) \quad (2)$$

Se puede escribir

$$z_k(t) = \sum_n a_{n,k} s_k(t - nT_s) \quad (3)$$

- 25 La ecuación (3) muestra que la contribución de cada usuario k se puede poner en forma del filtro de un tren de símbolos por una determinada función  $s_k(t)$  que contiene los efectos del ensanchamiento, del filtro de conformación en la emisión, de la propagación y de los filtros de recepción antes del muestreo.

Si se llama  $S_k$  al vector que contiene las muestras de  $s_k(t)$ , se puede reescribir la señal muestreada para el usuario k de la siguiente manera:

$$Z_k = H_k \cdot A_k \quad (4)$$

- 30 en la que  $A_k$  es el vector de los N símbolos  $a_{n,k}$  y  $H_k$  una matriz construida a partir del vector  $S_k$  de la manera que se describe en la figura 4.

Las columnas de la matriz  $H_k$  están construidas a partir de versiones separadas de la secuencia  $S_k$ , cada columna corresponde a un nuevo símbolo del vector  $A_k$  y la separación corresponde al número de muestras por símbolo. El solapamiento entre las diferentes versiones separadas de  $S_k$  corresponde a la duración de la respuesta impulsional global (filtros más canal de propagación).

- 35 Por lo tanto, el modelo completo se puede escribir:

$$Z = \sum_{k=1}^K H_k A_k + W \quad (5)$$

En esta ecuación (5),  $W$  es un vector de ruido ligado a las interferencias exteriores a la célula y al ruido interno del receptor.

5 La figura 5 muestra la estructura de un ecualizador que funciona utilizando el principio de realimentación que se ha descrito con anterioridad en relación con la figura 3.

Durante la ecualización del usuario  $k$ , el primer bloque 20 tiene como función eliminar de la señal recibida  $Z$  las contribuciones de los usuarios con índices comprendidos entre 1 y  $k-1$ , es decir de los usuarios ya tratados. Para ello, recibe los vectores de símbolos estimados que corresponden a estos usuarios. La estimada de los símbolos se realiza, por ejemplo, calculando el valor esperado del valor del símbolo a partir de las probabilidades que se obtienen durante las etapas de decodificación.

10 El segundo bloque 21 tiene como función tratar la interferencia entre símbolos que corresponde a los símbolos del propio usuario  $k$ , y el ruido que se deriva de los usuarios con índices  $k+1$  a  $K$  aun no tratados y del ruido térmico. El ecualizador tiene una estructura DFE, es decir que está compuesto por una parte de "filtro transversal" y por una parte de "decisión realimentada". La parte de "filtro transversal" está calculada teniendo en cuenta el conocimiento que se tiene de la estructura del ruido generada por los usuarios aun no tratados y por el ruido térmico. La parte de "decisión realimentada" tiene un funcionamiento secuencial. Para cada símbolo de índice  $n$  del usuario actual, suprime la contribución de los símbolos con un índice inferior ya determinados.

15 El segundo bloque de acuerdo con la invención comprende, por ejemplo, un filtro transversal 22 como una matriz que se aplica al vector  $U$ , el vector  $V$  resultante se muestrea al ritmo del símbolo. Las coordenadas  $v_i$  de este vector se pasan a continuación por un bucle que comprende un órgano de decisión 23 y un filtro recursivo 24. El órgano de decisión permite obtener una decisión sobre los símbolos. En cada nuevo símbolo el filtro recursivo 24 elimina la contribución de los símbolos ya determinados en el bloque y reenviados. El bucle comprende también una salida ponderada 25 antes del órgano de decisión que permite transmitir los símbolos al decodificador.

20 El cálculo de los filtros de los filtros transversal 22 y recursivo 24 se realiza, por ejemplo, de la manera que se describe a continuación.

25 El cálculo de los filtros utiliza como criterio la minimización del error cuadrático medio entre la salida ponderada del ecualizador y el vector de símbolos del usuario  $k$

$$\min(E(\|Y_k - A_k\|^2)) \quad (6)$$

Retomando la ecuación (5), el vector  $U$  se puede escribir de la siguiente manera

$$U = H_k A_k + B$$

$$B = \sum_{l=k+1}^K H_l A_l + W \quad (7)$$

30 En esta ecuación (7) el ruido está formado por las señales que emiten los usuarios aun no decodificados de rango  $k+1$  a  $K$  y por el ruido agregable inicial  $W$ .

Para un ruido blanco  $W$ , a continuación se dan las expresiones de los filtros.

La matriz de correlación de  $B$  se escribe

$$R_B = \sigma_A^2 \cdot \sum_{l=k+1}^K H_l H_l^\dagger + \sigma_W^2 \cdot Id \quad (8)$$

35 Siendo  $\sigma_A^2$  la potencia de los símbolos de modulación,  $\sigma_W^2$  la potencia del ruido y  $Id$  la matriz identidad

- la matriz Q se define por

$$Q = H_k^\dagger R_B^{-1} H_k + \frac{1}{\sigma_w^2} Id \quad (9)$$

- se realiza la composición de Cholesky de esta matriz

$$Q = (\Sigma L)^\dagger (\Sigma L) \quad (10)$$

5 en la ecuación (10),  $\Sigma$  es una matriz diagonal y L una matriz triangular inferior.

La expresión del filtro transversal que minimiza el criterio (6) es

$$T = \Sigma^{-2} L^{-1\dagger} H_k^\dagger R_B^{-1} \quad (11)$$

El filtro recursivo viene determinado por las líneas de (L-Id).

10 De acuerdo con un modo de realización de la invención, el dispositivo utiliza un anulador de interferencias cuando el conjunto de símbolos que hay que demodular ha sido objeto de al menos una decodificación. En esta situación, a diferencia del ecualizador con decisión realimentada, cuando se pretende decidir el símbolo j del usuario k, el conjunto de los demás símbolos del mismo usuario o de los otros usuarios se pueden considerar como conocidos, aunque en la práctica únicamente se conozcan las estimadas de estos símbolos. Es, por lo tanto, posible eliminar por completo su contribución.

15 La figura 6 esquematiza el principio de este anulador.

Con respecto al caso del ecualizador con decisión realimentada de la figura 5, se dispone de más informaciones sobre todos los símbolos que provienen de la iteración i-1 para determinados usuarios, por ejemplo los de índice 1 a k-1 y de la iteración i actual para los otros usuarios de índice desde k+1 a K.

El principio aplicado consiste en:

- 20
- eliminar las contribuciones de todos los usuarios distintos del usuario k que se está tratando, utilizando la información más reciente para cada uno de ellos, para los usuarios de índice 1 a k-1 las estimadas de los vectores de los símbolos durante la iteración i y para los usuarios de índice k+1 a K la información de las estimadas que se obtienen durante la iteración (i-1), esto realizándose en el primer bloque 20 que genera un vector U;
- 25
- filtrar las muestras recibidas para el usuario k en el filtro T 22, el vector V resultante se muestrea a continuación, por ejemplo al ritmo de símbolo;
  - eliminar en el segundo bloque 21, para un símbolo n dado, la interferencia residual entre símbolos que procede de los demás símbolos del usuario k. La contribución de los símbolos 1 a n-1 viene determinada por el filtro P<sub>n</sub>, 26 y la de los símbolos de índice n+1 a N mediante un filtro Q<sub>n</sub>, 27.

30 De este modo con respecto al bucle de decisión, se dispone de una información residual mucho más valiosa que los símbolos determinados anteriores, esto es, informaciones sobre los símbolos pasados pero también futuros que proceden de la iteración anterior.

35 Después de las etapas de tratamiento, se pasa a la etapa de decodificación, a continuación se considera el usuario siguiente y la contribución del usuario k se elimina utilizando los resultados que se obtienen durante la iteración i y ya no i-1.

Las diferentes etapas de ecualización y de decodificación se pueden aplicar de manera ventajosa a un conjunto de usuarios que están ordenados de acuerdo con un criterio que tiene en cuenta la potencia ligada a un usuario a la cual se le suprime la contribución de las interferencias entre símbolos para este mismo usuario y para los otros usuarios.

40 Este criterio se determina, por ejemplo, de la manera siguiente:

- $h_{kl}$  designa la  $l$ ésima columna de la matriz  $H_k$  descrita en relación con la figura 4. Este vector designa de hecho

la respuesta impulsional global del canal para el  $k$ -ésimo símbolo del bloque que hay que demodular del usuario  $k$ ;

- el criterio  $C_k$  se determina de la manera siguiente

$$C_k = \sum_{n=1}^N \left( h_{k,n}^* h_{k,n} - \sum_{m \neq n} |h_{k,n}^* h_{k,m}| - \sum_{j \neq k} \sum_m |h_{k,n}^* h_{j,m}| \right)$$

- 5 en la que el símbolo  $t$  designa el conjugado traspuesto, el primer término corresponde a la potencia ligada al usuario  $k$ , el segundo término a la contribución del usuario y el tercer término a la contribución a las interferencias entre símbolos para todos los demás usuarios.

Este cálculo hace que intervengan las correlaciones entre las señales que corresponden a los diferentes símbolos ya estén emitidos por el propio usuario  $k$  o por los otros.

- 10 De hecho, el método mide la distancia que existe como mínimo entre dos símbolos opuestos en la salida de un filtro adaptado a la respuesta impulsional  $h_{k,n}$ , sean cuales sean los valores de los demás símbolos que interfieren.

Los usuarios se organizan en un orden decreciente antes de iniciar las etapas del procedimiento de acuerdo con la invención.

**REIVINDICACIONES**

1. Dispositivo de ecualización y de decodificación de señales digitales de K usuarios, que comprende K módulos, cada módulo comprendiendo un ecualizador conectado a un decodificador, en el cual:

- 5 • un ecualizador de rango k (11 k) está conectado a varios decodificadores (12 k) de rango inferior a entre 1 y k-1, y un ecualizador (11 k) de rango k recibe los símbolos útiles procedentes de los diferentes decodificadores (12<sub>1</sub>,..., 12 k);
- 10 • un ecualizador comprende dos bloques (20) y (21), el primer bloque (20) recibe al menos la señal que hay que demodular del usuario k y las estimadas de los símbolos asociados a los usuarios 1 a k-1 procedentes de al menos uno de los decodificadores de rango (k-1) y el segundo bloque (21) está adaptado para eliminar la contribución de los símbolos pasados ya demodulados;
- 15 • el primer bloque (20) recibe en un *ésima* iteración, al menos la señal del usuario k que hay que demodular, al menos las estimadas de los símbolos asociados a los usuarios 1 a k-1 que corresponden a la *ésima* iteración y las estimadas de los símbolos de los usuarios k+1 a K que se obtienen en la (i-1)ésima iteración y el segundo bloque (21) las estimadas de los símbolos del usuario k que se obtienen en la (i-1)ésima iteración, **y que se caracteriza**
- **porque** comprende un dispositivo adaptado para determinar un criterio para ordenar los usuarios antes de transmitir las señales al módulo de ecualización y de decodificación, el criterio teniendo en cuenta la potencia del usuario k, así como las interferencias entre símbolos para el propio usuario k y los demás usuarios.

2. Procedimiento de ecualización y de decodificación de señales digitales de K usuarios en un receptor que comprende varios módulos que comprenden cada uno al menos un ecualizador seguido de un decodificador, que comprende al menos las etapas siguientes:

- 25 a) en la iteración 1, para el usuario de índice 1 transmitir la señal que hay que demodular a un ecualizador de rango 1 y a continuación a un decodificador de rango 1 con el fin de obtener unos símbolos modulados estimados del usuario k, y
- b) para los usuarios k con un índice distinto de 1, transmitir la señal que hay que demodular a un ecualizador de rango k que recibe también los diferentes símbolos modulados estimados procedentes de al menos uno de los decodificadores de rango (k-1), y el procedimiento comprendiendo

30 varias iteraciones y para una iteración distinta de la primera iteración, la etapa b) consiste durante una *ésima* iteración en transmitir a un primer bloque del ecualizador de rango k los símbolos del usuario k que hay que demodular, las estimadas de los símbolos de los usuarios 1 a k-1 que se obtienen durante la *ésima* iteración y las estimadas de los símbolos de los usuarios k+1 a K que se obtienen durante la (i-1)ésima iteración y a un segundo bloque del ecualizador las estimadas de los símbolos del usuario k procedentes de la (i-1)ésima iteración, **y que se caracteriza porque** el procedimiento comprende:

35 una etapa en la que se ordenan los usuarios k antes de tratarlos de acuerdo con un criterio que tiene en cuenta la potencia ligada al usuario k corregida de la contribución de las interferencias entre símbolos ligado a sí mismo y a los demás usuarios.

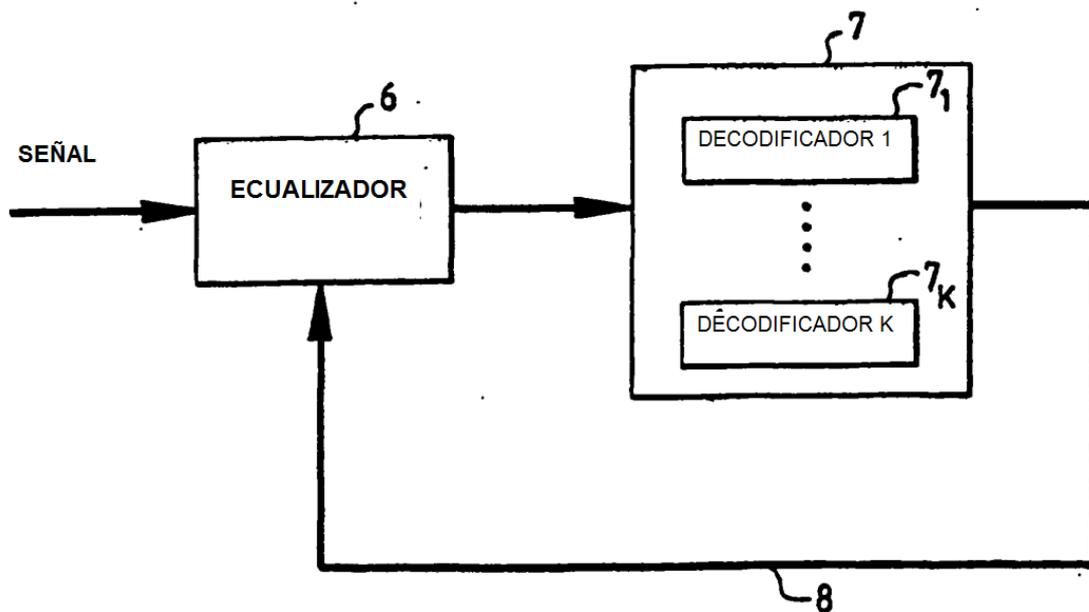
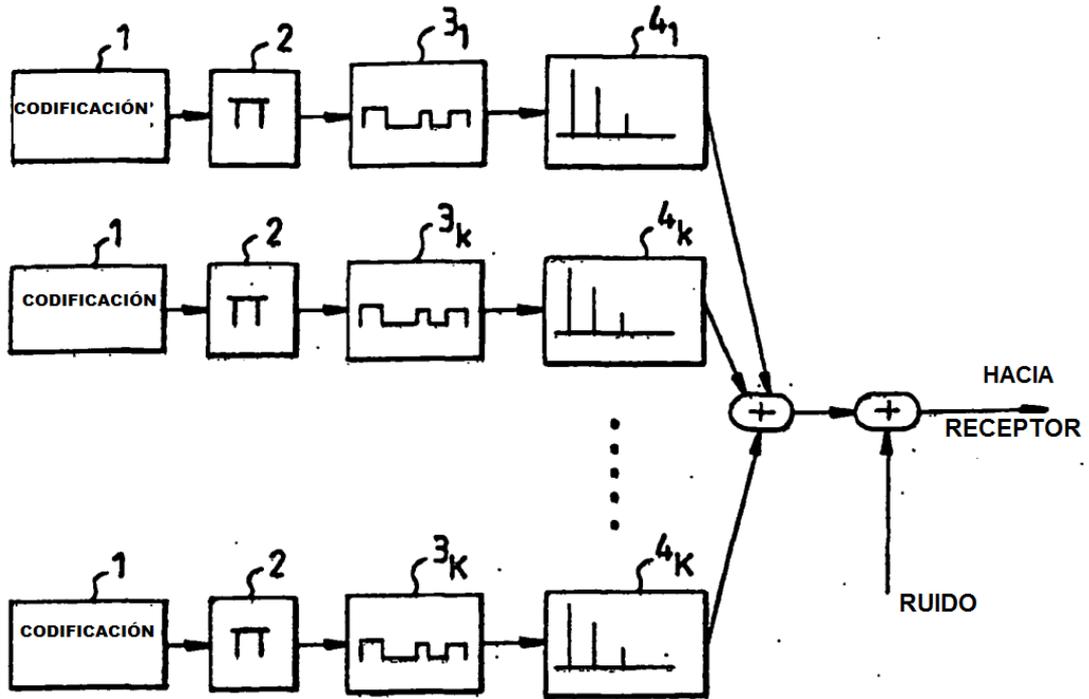
3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2 **que se caracteriza porque** el criterio para ordenar los usuarios se determina de la manera siguiente:

$$C_k = \sum_{n=1}^N \left( h_{k,n}^\dagger h_{k,n} - \sum_{m \neq n} |h_{k,n}^\dagger h_{k,m}| - \sum_{j \neq k} \sum_m |h_{k,n}^\dagger h_{j,m}| \right)$$

40 en la que  $h_{ki}$  designa la *ésima* columna de una matriz  $H_k$  construida a partir del vector que contiene las muestras de la señal del usuario k, n el índice temporal del símbolo codificado.

4. Uso del dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1 y del procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 2 a 3 para demodular una señal en un acceso múltiple con distribución espacial y/o una distribución mediante códigos de tipo CDMA.

45



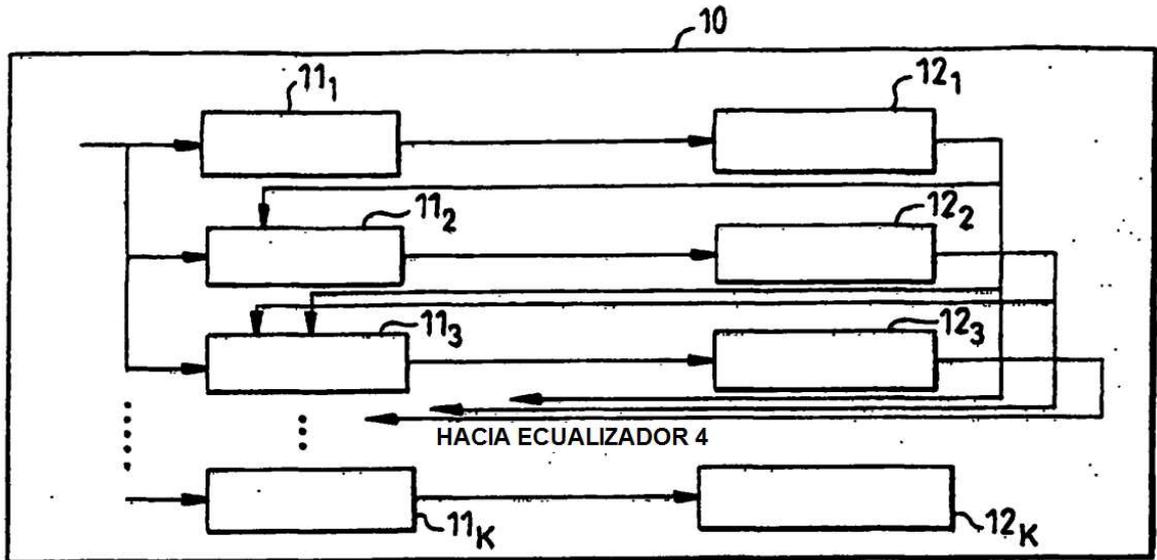
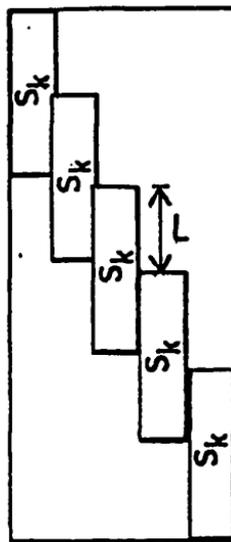


FIG.3



L: NÚMERO DE MUESTRAS POR SÍMBOLO

MATRIZ  $H_k$

FIG.4

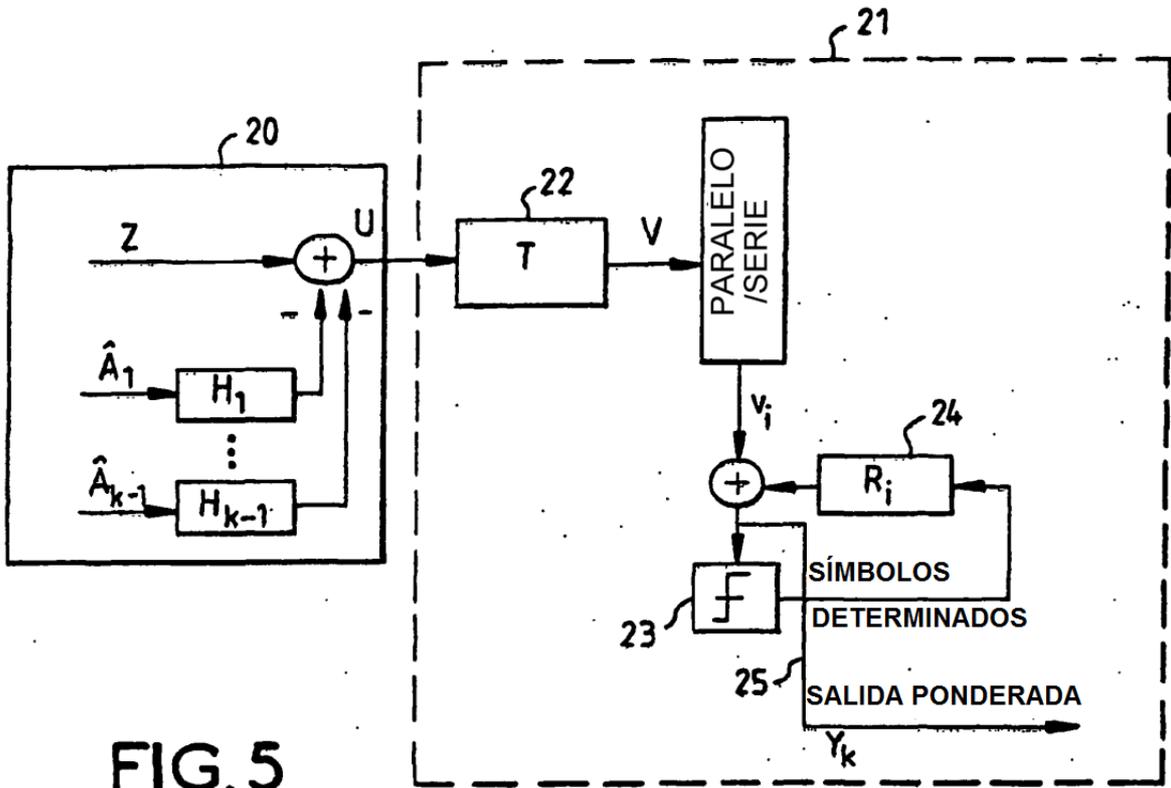


FIG. 5

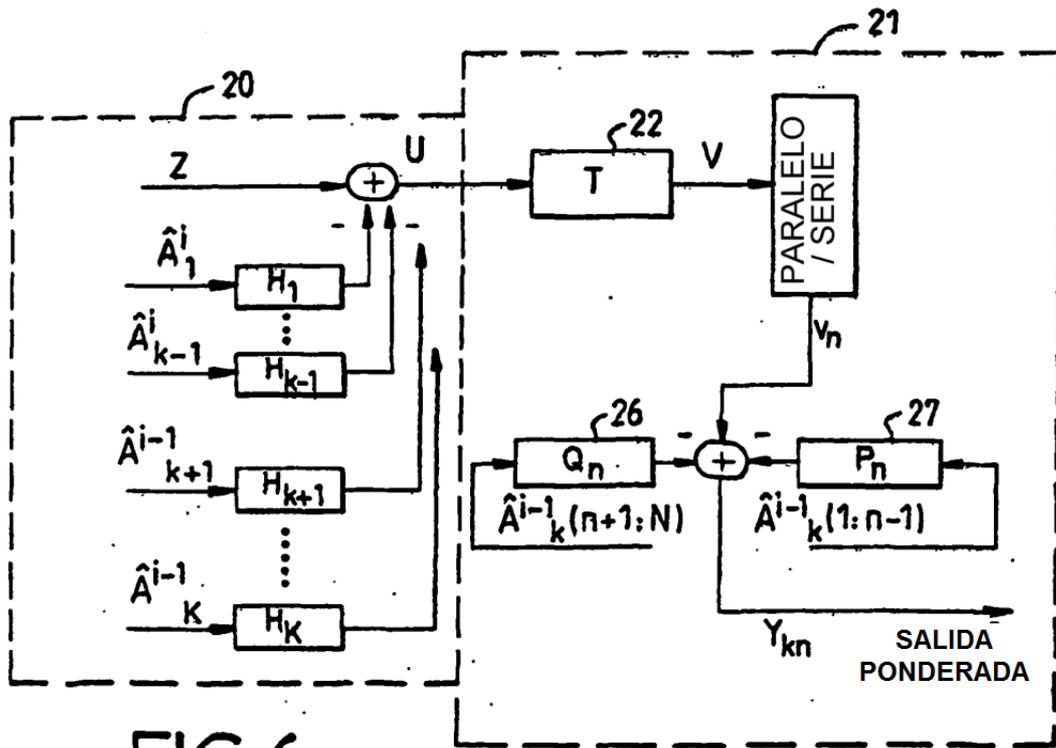


FIG. 6