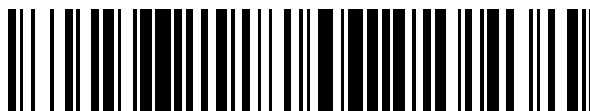


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 404 805**

51 Int. Cl.:

H04L 25/03

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.09.2008** **E 08016282 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.03.2013** **EP 2051463**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para detectar símbolos transmitidos en un sistema de transmisión de múltiples capas**

30 Prioridad:

15.10.2007 DE 102007049399
05.03.2008 DE 102008012590

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
29.05.2013

73 Titular/es:

ROHDE & SCHWARZ GMBH & CO. KG (100.0%)
MÜHLDORFSTRASSE 15
81671 MÜNCHEN, DE

72 Inventor/es:

DETERT, TORBEN

74 Agente/Representante:

ARPE FERNÁNDEZ, Manuel

ES 2 404 805 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 detectar símbolos transmitidos en un sistema de transmisión de múltiples capas

[0001] La invención se refiere a un procedimiento y un dispositivo para detectar símbolos transmitidos en un sistema de transmisión de múltiples capas con cálculo de métrica de rama reducido.

[0002] Las futuras aplicaciones multimedia en la técnica de comunicación requerirán cada vez más un aumento de la tasa de transmisión de datos. El dominio de esta gran afluencia de datos se llevará a cabo mediante sistemas de varias antenas que hacen posible la separación en el espacio de señales de transmisión y en consecuencia permiten la transmisión paralela de varios trenes de datos en la misma banda de frecuencias o el acceso múltiple al medio de transmisión en el espacio (denominado *Space-Division-Multiple-Access* (SDMA) (acceso múltiple por división en el espacio).

[0003] En la transmisión paralela de varios trenes de datos al mismo tiempo y en la misma banda de frecuencias en un sistema de transmisión de múltiples capas, por ejemplo en el sistema de transmisión V-Blast (*Bell-Labs-Layered-Space-Time-Vertical Encoding* [codificación vertical espacio-tiempo por capas]), el volumen de datos a transmitir se divide en varios trenes de datos, que respectivamente se dirigen a una de las, en total, N_t antenas emisoras. Los N_t trenes de datos diferentes, respectivamente transmitidos por una de las N_t antenas emisoras, se superponen en los, en total, N_r trenes de datos que son respectivamente recibidos por una de las N_r antenas receptoras.

[0004] Esta superposición de señales de transmisión individuales en cada una de las señales de recepción independientes se puede comparar con la superposición en el tiempo de símbolos de datos en una señal de recepción en caso de canales de transmisión que presentan interferencia entre símbolos (ISI - *intersymbol interference*). Análogamente a la estimación de canal y la corrección en el tiempo basada en la misma con ayuda de un estimador de secuencias en caso de canales de transmisión que presentan interferencia entre símbolos (ISI), en un sistema de transmisión de múltiples capas es necesaria una estimación de los, en total, $N_t \cdot N_r$ canales de transmisión entre las N_t antenas emisoras y las N_r antenas receptoras y una corrección en el espacio basada en dicha estimación de los trenes de datos respectivamente transmitidos por las, en total, N , antenas emisoras en las N , capas.

[0005] De forma análoga a la corrección en el tiempo, el *Maximum-Likelihood-Sequence-Estimator* (MLSE) (estimador de secuencia de máxima verosimilitud), que se describe por ejemplo en el documento EP 1246418 A2 y que determina la distancia euclidiana entre el vector de las señales de recepción $\underline{r}$ y el vector ponderado con la matriz de transmisión H de todas las hipótesis posibles $\underline{\hat{s}}$ de las señales de transmisión $\underline{s}$, es actualmente el mejor detector.

[0006] En un cálculo eficiente del *Maximum-Likelihood-Sequence-Estimator* con ayuda del algoritmo de Viterbi, en caso de un cardinal $|S|$ del alfabeto de modulación

[0007] Si utilizado se han de calcular en total $|S|^{N_t}$ distancias euclidianas o ramas en el dendrograma o el diagrama de Trellis y en total $|S|^{N_t-1}$ estados, lo que no es posible en tiempo real, incluso en caso de un pequeño número N_t de antenas emisoras.

[0008] En el documento de D. L. Milliner y colaboradores "A layer adaptive M algorithm for multiple-input multiple-output channel detection", 8th IEEE Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications, 2007, SPAWC 2007, se describe un detector que utiliza un algoritmo M con una métrica que presenta una matriz de transmisión de canal con estructura triangular inferior triangulada mediante descomposición QR.

[0009] W.J. Chin, en "QRD Based Tree Search Data Detection for MIMO Communication Systems", 61th IEEE Vehicular Technology Conference, 2005, VTC 2005-Spring, Piscataway, NJ, EE.UU., tomo 3, páginas 1624 a 1627, ha dado a conocer un detector equivalente que utiliza un algoritmo M con una métrica que presenta una matriz de transmisión de canal con estructura triangular superior triangulada mediante una descomposición QR.

[0010] L.G. Barbero y colaboradores, en "Performance Analysis of a Fixed-complexity a Sphere Decoder in High-Dimensional MIMO Systems", International IEEE Conference on Acoustics, Speech and Signal Proceedings, 2006, ICASSP 2006, Toulouse, Francia, 14 a 19 de mayo de 2006, Piscataway, NJ, EE.UU., IEEE, 1 de enero de 2006, páginas IV 557 - IV 559, han dado a conocer un detector esférico que para la estimación, compara el símbolo de recepción con una pluralidad de hipótesis de símbolo reducida respecto del cardinal del alfabeto de símbolos.

[0011] Por consiguiente, el objetivo de la invención consiste en crear un procedimiento y un dispositivo para la corrección en el espacio de varias señales de transmisión superpuestas en varias señales de recepción en una transmisión de múltiples capas, que presenten un gasto de procesamiento claramente menor que el del *Maximum-Likelihood-Sequence-Estimator* cuando se utiliza el algoritmo de Viterbi, sin sufrir pérdidas esenciales en la calidad del resultado de detección.

[0012] Este objetivo se resuelve en lo que respecta al procedimiento, mediante las características indicadas en la reivindicación 1 o en la reivindicación 2, y en lo que respecta al dispositivo, mediante las características indicadas en la reivindicación 7. Las reivindicaciones subordinadas se refieren a perfeccionamientos ventajosos.

5 **[0013]** De acuerdo con la invención, correspondientemente a las N_t ecuaciones del sistema de ecuaciones que describe la transmisión entre las N_t antenas emisoras y las N_r antenas receptoras, se incorporan N_t capas en las que se estiman los símbolos $s_1, \dots, s_k, \dots, s_{N_t}$ transmitidos por las N_t antenas emisoras.

[0014] Para ello, en una primera forma de realización preferente de la invención, la matriz de canal de transmisión H entre las N_t antenas emisoras y las N_r antenas receptoras se descompone en una matriz ortogonal Q^H y una matriz triangular superior R a través de una descomposición $Q \cdot R$.

10 **[0015]** A continuación se ejecutan preferentemente las siguientes etapas de procedimiento:

- Cálculo de una pluralidad M de valores estimados aproximativos $\bar{s}_k^{(1)}, \dots, \bar{s}_k^{(a)}, \dots, \bar{s}_k^{(M)}$ para el símbolo s_k estimado en una capa k mediante corrección de símbolos recibidos $r_1, \dots, r_k, \dots, r_{N_r}$ transformados en una capa k de valores estimados más exactos $\hat{s}_1^{(1)}, \dots, \hat{s}_{k-1}^{(1)}, \dots, \hat{s}_1^{(a)}, \dots, \hat{s}_{k-1}^{(a)}, \dots, \hat{s}_{k-1}^{(M)}, \dots, \hat{s}_{N_t}^{(M)}$ transformados en la capa k y que ya han sido calculados y que preceden en una respectiva ruta a del dendrograma o el diagrama de Trellis, para símbolos $s_{k+1}, \dots, s_{N_t}$ estimados en una capa $k+1$ a N_t ;

- determinación de una región de Voronoi $V(\bar{s}_k^{(1)}), \dots, V(\bar{s}_k^{(a)}), \dots, V(\bar{s}_k^{(M)})$ en el diagrama de estado para cada valor estimado aproximativo $\bar{s}_k^{(1)}, \dots, \bar{s}_k^{(a)}, \dots, \bar{s}_k^{(M)}$ calculado en la capa k , en cuyo centro se encuentra el valor estimado aproximativo $\bar{s}_k^{(1)}, \dots, \bar{s}_k^{(a)}, \dots, \bar{s}_k^{(M)}$ correspondiente, con una pluralidad P de hipótesis de símbolo $= (1) = (a) = (M)$, $\underline{s}_k \dots \underline{s}_k \dots \underline{s}_k$, reducida con respecto a la cantidad M , para el símbolo s_k estimado en la capa k ;

20

- determinación de una respectiva distancia euclidiana $\underline{d}_k^{(1)}, \dots, \underline{d}_k^{(a)}, \dots, \underline{d}_k^{(M)}$ entre cada valor estimado aproximativo individual $\bar{s}_k^{(1)}, \dots, \bar{s}_k^{(a)}, \dots, \bar{s}_k^{(M)}$ del símbolo s_k estimado en la capa k y todas las hipótesis de símbolo $= (1) = (a) = (M)$, $\underline{s}_k \dots \underline{s}_k \dots \underline{s}_k$ dispuestas en la región de Voronoi correspondiente $V(\bar{s}_k^{(1)}), \dots, V(\bar{s}_k^{(a)}), \dots, V(\bar{s}_k^{(M)})$, y determinación de una métrica de ruta $\underline{M}_k^{(1)}, \dots, \underline{M}_k^{(a)}, \dots, \underline{M}_k^{(M)}$ para cada hipótesis de símbolo individual $= (1) = (a) = (M)$, $\underline{s}_k \dots \underline{s}_k \dots \underline{s}_k$ en la capa k mediante adición de la distancia euclidiana $\underline{d}_k^{(1)}, \dots, \underline{d}_k^{(a)}, \dots, \underline{d}_k^{(M)}$ respectivamente determinada y una métrica de ruta $\underline{M}_{k+1}^{(1)}, \dots, \underline{M}_{k+1}^{(a)}, \dots, \underline{M}_{k+1}^{(M)}$ de distancias euclidianas mínimas sumadas $\underline{d}_{k+1}^{(1)}, \dots, \underline{d}_{k+1}^{(a)}, \dots, \underline{d}_{k+1}^{(M)}, \dots, \underline{d}_{N_t}^{(1)}, \dots, \underline{d}_{N_t}^{(a)}, \dots, \underline{d}_{N_t}^{(M)}$ a partir de valores estimados más exactos $\hat{s}_{k+1}^{(a)}, \dots, \hat{s}_{N_t}^{(a)}$ que preceden en la ruta a correspondiente y valores estimados aproximativos $\bar{s}_{k+1}^{(a)}, \dots, \bar{s}_{N_t}^{(a)}$ para símbolos $s_{k+1}, \dots, s_{N_t}$ estimados en la capa $k+1$ a N_t ;

30

- determinación de hasta M valores estimados más exactos $\hat{s}_k^{(1)}, \dots, \hat{s}_k^{(a)}, \dots, \hat{s}_k^{(M)}$ para el símbolo s_k estimado en la capa k como las hipótesis de símbolo $\underline{s}_k^{(a)}$ correspondientes respectivamente a las M métricas de ruta más pequeñas $\underline{M}_{k,p}^{(a)}$ a partir de todas las métricas de ruta $\underline{M}_k^{(1)}, \dots, \underline{M}_k^{(a)}, \dots, \underline{M}_k^{(M)}$ calculadas en la capa k ; y

- determinación de valores estimados óptimos $\underline{\hat{s}}$ para los símbolos $\underline{s}$ estimados en todas las capas como los valores estimados más exactos $\hat{s}^{(a)}$, pertenecientes a la ruta a con la métrica de ruta mínima $\underline{M}_{1,p}^{(a)}$ en la capa 1, de los símbolos $\underline{s}$ estimados en todas las capas.

35 **[0016]** En una primera forma de realización preferente de la invención, la matriz de canal de transmisión H entre las N_t antenas emisoras y las N_r antenas receptoras se descompone en una matriz ortogonal Q^H y una matriz triangular inferior R a través de una descomposición $Q \cdot R$.

[0017] A continuación se ejecutan preferentemente las siguientes etapas de procedimiento:

40

- Cálculo de una pluralidad M de valores estimados aproximativos $\bar{s}_k^{(1)}, \dots, \bar{s}_k^{(a)}, \dots, \bar{s}_k^{(M)}$ para el símbolo s_k estimado en una capa k mediante corrección de símbolos recibidos $r_1, \dots, r_k, \dots, r_{N_r}$ transformados en la capa k de valores

estimados más exactos $\hat{s}_1^{(1)}, \dots, \hat{s}_{k-1}^{(1)}, \dots, \hat{s}_1^{(a)}, \dots, \hat{s}_{k-1}^{(a)}, \dots, \hat{s}_1^{(M)}, \dots, \hat{s}_{k-1}^{(M)}$ transformados en la capa k y que ya han sido calculados y que preceden en una respectiva ruta a del diagrama de estado, para símbolos $s_1, \dots, s_{k-1}$ estimados en la capa 1 a $k-1$;

• determinación de una región de Voronoi $V(\bar{s}_k^{(1)}), \dots, V(\bar{s}_k^{(a)}), \dots, V(\bar{s}_k^{(M)})$ en el diagrama de estado para cada valor estimado aproximativo $\bar{s}_k^{(1)}, \dots, \bar{s}_k^{(a)}, \dots, \bar{s}_k^{(M)}$ calculado en la capa k , en cuyo centro se encuentra el valor estimado aproximativo $\bar{s}_k^{(1)}, \dots, \bar{s}_k^{(a)}, \dots, \bar{s}_k^{(M)}$ correspondiente, con una pluralidad P de hipótesis de símbolo $= (I) = (a) = (M)$, $\underline{s}_k, \dots, \underline{s}_k, \dots, \underline{s}_k$, reducida con respecto a la cantidad M , para el símbolo s_k estimado en la capa k ;

• determinación de una respectiva distancia euclidiana $\underline{d}_k^{(1)}, \dots, \underline{d}_k^{(a)}, \dots, \underline{d}_k^{(M)}$ entre cada valor estimado aproximativo individual $\bar{s}_k^{(1)}, \dots, \bar{s}_k^{(a)}, \dots, \bar{s}_k^{(M)}$ del símbolo s_k estimado en la capa k y todas las hipótesis de símbolo $= (I) = (a) = (M)$, $\underline{s}_k, \dots, \underline{s}_k, \dots, \underline{s}_k$ dispuestas en la región de Voronoi correspondiente $V(\bar{s}_k^{(1)}), \dots, V(\bar{s}_k^{(a)}), \dots, V(\bar{s}_k^{(M)})$, y determinación de una métrica de ruta $\underline{M}_k^{(1)}, \dots, \underline{M}_k^{(a)}, \dots, \underline{M}_k^{(M)}$ para cada hipótesis de símbolo individual $= (I) = (a) = (M)$, $\underline{s}_k, \dots, \underline{s}_k, \dots, \underline{s}_k$ en la capa k mediante adición de la distancia euclidiana $\underline{d}_k^{(1)}, \dots, \underline{d}_k^{(a)}, \dots, \underline{d}_k^{(M)}$ respectivamente determinada y una métrica de ruta $\underline{M}_{k-1}^{(1)}, \dots, \underline{M}_{k-1}^{(a)}, \dots, \underline{M}_{k-1}^{(M)}$ de distancias euclidianas mínimas sumadas $\underline{d}_1^{(1)}, \dots, \underline{d}_1^{(a)}, \dots, \underline{d}_1^{(M)}, \dots, \underline{d}_{k-1}^{(1)}, \dots, \underline{d}_{k-1}^{(a)}, \dots, \underline{d}_{k-1}^{(M)}$ a partir de valores estimados más exactos $\hat{s}_1^{(a)}, \dots, \hat{s}_{k-1}^{(a)}$ que preceden en la ruta a correspondiente y valores estimados aproximativos $\bar{s}_1^{(a)}, \dots, \bar{s}_{k-1}^{(a)}$ para símbolos $s_1, \dots, s_{k-1}$ estimados en la capa 1 a $k-1$;

• determinación de hasta M valores estimados más exactos $\hat{s}_k^{(1)}, \dots, \hat{s}_k^{(a)}, \dots, \hat{s}_k^{(M)}$ para el símbolo s_k estimado en la capa k como las hipótesis de símbolo $\underline{s}_{k,p}$ correspondientes respectivamente a las M métricas de ruta más pequeñas $\underline{M}_{k,p}^{(a)}$ a partir de todas las métricas de ruta $\underline{M}_k^{(1)}, \dots, \underline{M}_k^{(a)}, \dots, \underline{M}_k^{(M)}$ calculadas en la capa k ; y

• determinación de valores estimados óptimos $\underline{s}$ para los símbolos $\underline{s}$ estimados en todas las capas como los valores estimados más exactos $\hat{s}^{(a)}$, pertenecientes a la ruta a con la métrica de ruta mínima $\underline{M}_{N_t,p}^{(a)}$ en la capa N_t , de los símbolos $\underline{s}$ estimados en todas las capas.

[0018] Para determinar los símbolos recibidos $r_1, \dots, r_k, \dots, r_{N_r}$ transformados en las capas 1 a N_t se lleva a cabo una descomposición $Q \cdot R$ de una matriz de canal de transmisión H entre las antenas emisoras y las antenas receptoras en una matriz ortogonal Q^H y una matriz triangular R , y una ponderación de los símbolos recibidos $r_1, \dots, r_k, \dots, r_{N_r}$ con la matriz ortogonal Q^H .

[0019] Para determinar los valores más exactos $\hat{s}_1^{(1)}, \dots, \hat{s}_{k-1}^{(1)}, \hat{s}_1^{(2)}, \dots, \hat{s}_{k-1}^{(2)}, \dots, \hat{s}_1^{(M)}, \dots, \hat{s}_{k-1}^{(M)}, \dots, \hat{s}_{N_t}^{(M)}$ transformados en las capas 1 a N_t se lleva a cabo una ponderación de los valores más exactos $\hat{s}_1^{(1)}, \dots, \hat{s}_{k-1}^{(1)}, \hat{s}_1^{(2)}, \dots, \hat{s}_{k-1}^{(2)}, \dots, \hat{s}_1^{(M)}, \dots, \hat{s}_{k-1}^{(M)}, \dots, \hat{s}_{N_t}^{(M)}$ con elementos de línea $R_{v,v}$ de la matriz triangular R pertenecientes a la capa correspondiente.

[0020] Las dos formas de realización del procedimiento según la invención y el dispositivo según la invención posibilitan por un lado, gracias a la estructura triangular de la matriz triangular R , una determinación relativamente sencilla de valores estimados aproximativos $\bar{s}_1^{(a)}, \dots, \bar{s}_{N_t}^{(a)}$ en las capas individuales 1 a N_t para los símbolos $s_1, \dots, s_{N_t}$ y, por otro lado, una pluralidad P de cálculos de métrica de rama reducida en comparación con el cardinal M del alfabeto de símbolos utilizado, para la determinación de valores estimados más exactos $\bar{s}_1^{(a)}, \dots, \bar{s}_{N_t}^{(a)}$ a partir de los valores estimados aproximativos individuales calculados $\bar{s}_1^{(a)}, \dots, \bar{s}_{k-1}^{(a)}$.

[0021] En un perfeccionamiento ventajoso del procedimiento según la invención, la cantidad M de valores estimados aproximativos $\bar{s}_k^{(1)}, \dots, \bar{s}_k^{(M)}$ para el símbolo s_k estimado en la capa k correspondiente no es ninguna magnitud fija correspondiente al cardinal $|S|$ del alfabeto de modulación S empleado, sino que consiste en una pluralidad M_k de valores estimados aproximativos $\bar{s}_k^{(1)}, \dots, \bar{s}_k^{(M_k)}$ dependiente de la capa k correspondiente, que es

inversamente proporcional al elemento diagonal $R_{k,k}$ de la capa k en la matriz triangular R . La pluralidad M_k de valores estimados aproximativos $\bar{s}_k^{(1)}, \dots, \bar{s}_k^{(M_k)}$ dependiente de la capa k correspondiente se calcula mediante la siguiente fórmula matemática:

$$M_k = N_B \cdot \frac{1/R_{k,k}}{\sum_{i=1}^{N_k} 1/R_{i,i}}$$

5 en la que N_B representa el número total de las distancias euclidianas a calcular en todas las capas.

[0022] De este modo, en función del tamaño del elemento diagonal $R_{k,k}$ de la capa k en la matriz triangular R , que es una medida de la altura del nivel de señal del símbolo s_k estimado en la capa k , es posible calcular una reducida pluralidad M_k de valores estimados para símbolos transmitidos con un alto nivel de señal y en consecuencia una buena relación señal-ruido, y una baja dispersión de símbolos en el diagrama de estado y en consecuencia una detectabilidad de símbolos relativamente fácil, y una elevada pluralidad M_k de valores estimados para símbolos transmitidos con un bajo nivel de señal y en consecuencia una mala relación señal-ruido, y una alta dispersión de símbolos en el diagrama de estado y en consecuencia una detectabilidad de símbolos relativamente difícil.

[0023] A continuación se explican detalladamente los ejemplos de formas de realización preferentes del procedimiento según la invención y del dispositivo según la invención para la detección de señales de transmisión de una transmisión de múltiples capas, por medio de los dibujos. En los dibujos:

- la figura 1 muestra una estructura en árbol de un detector QRD-M con $N_T=3$, $N_r=3$, $M=4$ y $|S|=4$;

- la figura 2 muestra una estructura en árbol de un detector QRD-M-P según la invención con $N_T=3$, $N_r=3$, $M=4$, $P=2$ y $|S|=4$;

20 - la figura 3A muestra un diagrama de flujo de una primera forma de realización del procedimiento según la invención para detección de símbolos transmitidos en un sistema de transmisión de múltiples capas con cálculo de métrica de rama reducido;

- la figura 3B muestra un diagrama de flujo de una segunda forma de realización del procedimiento según la invención para la detección de símbolos transmitidos en un sistema de transmisión de múltiples capas con cálculo de métrica de rama reducido;

25 - la figura 4 muestra un diagrama de bloques del dispositivo según la invención para detección de símbolos transmitidos en un sistema de transmisión de múltiples capas con cálculo de métrica de rama reducido; y

- la figura 5 muestra un diagrama de la tasa de error binario en función de la relación señal-ruido para diferentes algoritmos de detección.

[0024] Antes de describir el procedimiento según la invención y el dispositivo según la invención para la detección de señales de transmisión en una transmisión de múltiples capas con referencia a las figuras 3A, 3B y 4, a continuación se desarrollan las bases necesarias para la comprensión de la invención:

[0025] Apoyándose en la corrección en el tiempo con ayuda del *Maximum-Likelihood-Sequence-Estimator* (MLSE), el corrector en el espacio determina mediante el procedimiento MLSE según la ecuación (1) la distancia euclidiana

entre el vector de las señales de recepción $\underline{r}(i)$ en el momento actual i y el vector de todas las hipótesis posibles $\underline{s}$ de las señales de transmisión $\underline{s}$ ponderado con la matriz de transmisión H .

$$\hat{\underline{s}} = \arg \left\{ \min_{\underline{s} \in S} \| \underline{r}(i) - H \cdot \underline{s} \|^2 \right\} \quad (1)$$

[0026] Un procedimiento de corrección en el espacio adecuado en la práctica se basa según la ecuación (2) en la descomposición $Q \cdot R$ de la matriz de transmisión H , en la que el espacio vectorial N_T -dimensional fijado por los vectores de columna $\underline{h}_j$ de la matriz de transmisión $N_r \cdot N_T$ -dimensional se descompone en un espacio vectorial ortonormalizado correspondiente, fijado por los vectores ortogonales entre sí y normalizados - ortonormalizados - $\underline{q}_j$ de una matriz $N_r \cdot N_T$ -dimensional ortonormalizada y unitaria Q , y en las proyecciones de los vectores de columna $\underline{h}_j$ de la matriz de transmisión H sobre el espacio vectorial ortonormalizado, fijadas a través de los vectores de columna $\underline{r}_j$ de una matriz triangular $N_r \cdot N_T$ -dimensional R .

$$H = [\underline{h}_1 \quad \dots \quad \underline{h}_i \quad \dots \quad \underline{h}_{N_t}] = Q \cdot R =$$

$$= [\underline{q}_1 \quad \dots \quad \underline{q}_i \quad \dots \quad \underline{q}_{N_t}] \cdot [\underline{r}_1 \quad \dots \quad \underline{r}_i \quad \dots \quad \underline{r}_{N_t}] \quad (2)$$

[0027] La matriz triangular R según la ecuación (3A) constituye una matriz triangular superior R^o y la matriz triangular R según la ecuación (3B) constituye una matriz triangular inferior R^u .

$$R^o = [\underline{r}_1 \quad \dots \quad \underline{r}_i \quad \dots \quad \underline{r}_{N_t}] = \begin{bmatrix} R_{1,1} & R_{1,2} & \dots & R_{1,N_t} \\ 0 & R_{2,2} & \dots & R_{2,N_t} \\ \vdots & \vdots & \vdots & R_{N_t-1,N_t} \\ 0 & 0 & 0 & R_{N_t,N_t} \end{bmatrix} \quad (3A)$$

$$R^u = [\underline{r}_1 \quad \dots \quad \underline{r}_i \quad \dots \quad \underline{r}_{N_t}] = \begin{bmatrix} R_{1,1} & 0 & \dots & 0 \\ R_{2,1} & R_{2,2} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & 0 \\ R_{N_t,1} & R_{N_t,2} & \dots & R_{N_t,N_t} \end{bmatrix} \quad (3B)$$

[0028] En las siguientes consideraciones se parte de un modelo de sistema del sistema de transmisión de varias antenas según la ecuación (4), que constituye un sistema *Multiple-Input-Multiple-Output* (MIMO) (múltiples entradas-múltiples salidas) con N_t antenas emisoras y N_r antenas receptoras, en el que un vector de señal de emisión N_t -dimensional $\underline{s}$, cuya potencia de señal media $E\{\underline{s} \cdot \underline{s}^H\}$ está normalizada según la ecuación (5) al valor máximo, se pondera con una matriz de transmisión $N_r \cdot N_t$ -dimensional H, que está compuesta según la ecuación (6) por factores de transmisión no correlacionados, con distribución compleja de Gauss H_{ij} con varianza uno, y se suma con un vector de ruido N_r -dimensional $\underline{n}$, que según la ecuación (7) incluye un ruido aditivo gaussiano complejo con varianza σ_n^2 , con lo que resulta un vector de recepción N_r -dimensional $\underline{r}$.

$$\underline{r} = H \cdot \underline{s} + \underline{n} \quad (4)$$

$$E\{\underline{s} \cdot \underline{s}^H\} = \frac{1}{N_t} \cdot I_{N_t} \quad (5)$$

$$E\{H \cdot H^H\} = I_{N_r} \quad (6)$$

$$E\{\underline{n} \cdot \underline{n}^H\} = \sigma_n^2 \cdot I_{N_r} \quad (7)$$

[0029] Si el modelo de sistema del sistema de transmisión de varias antenas según la ecuación (4) se multiplica por ambos lados por la matriz ortonormalizada hermitiana Q^H , se obtiene un sistema de ecuaciones (8) que se puede incorporar en un método de *Maximum-Likelihood* (máxima verosimilitud) bajo minimización del vector de ruido $\underline{n}$ en

una métrica $M(\underline{s})$ correspondientemente a la ecuación (1), cuya minimización según la ecuación (9) conduce a valores estimados $\hat{s}$ para el vector de señal de emisión $\underline{s}$.

$$\underline{y} = \underline{Q}^H \cdot \underline{r} = \underline{R} \cdot \underline{s} + \underline{Q}^H \cdot \underline{n} \quad (8)$$

$$\underline{\hat{s}} = \arg \left\{ \min_{\underline{s} \in S^{N_t}} M(\underline{s}) \right\} = \arg \left\{ \min_{\underline{s} \in S^{N_t}} \|\underline{y} - \underline{R} \cdot \underline{s}\|^2 \right\} \quad (9)$$

[0030] La minimización de la métrica $M(\underline{s})$ de acuerdo con el método de *Maximum-Likelihood* según la ecuación (9) tiene lugar según la invención en tres etapas:

- cálculo sucesivo de varios valores estimados aproximativos $\bar{s}_k^{(\alpha)}$ para cada capa k mediante solución sucesiva

5 del sistema de ecuaciones de la métrica $M(\underline{s})$ en la ecuación (9);

- determinación sucesiva de un valor estimado más exacto $\hat{s}_k^{(\alpha)}$ mediante minimización de la distancia euclidiana entre el valor estimado aproximativo correspondiente $\bar{s}_k^{(\alpha)}$ y una pluralidad P de hipótesis de símbolo $\underline{s}_k^{(\alpha)}$ reducida con respecto a la potencia $|S|$ del alfabeto de símbolos, que en el diagrama de estado están posicionadas junto al valor estimado aproximativo $\bar{s}_k^{(\alpha)}$, y

- 10 • detección de aquellos valores estimados más exactos $\hat{s}_k^{(\alpha)}$ a partir de una pluralidad de hasta M valores estimados más exactos $\hat{s}_k^{(\alpha)}$, como valores estimados óptimos $\hat{s}_k$ de los símbolos s_k estimados en las capas k individuales de la antena emisora k correspondiente, que pertenecen a la ruta con la métrica de ruta mínima $\underline{M}^{(a)}$.

[0031] Para el cálculo de valores estimados aproximativos $\bar{s}_k^{(\alpha)}$ para el símbolo s_k transmitido en la capa k correspondiente, en caso de una matriz triangular superior R^o según la ecuación (3A) se puede recurrir a las líneas individuales de la métrica sucesivamente desde la capa N_t hasta 1 sin llevar a cabo una inversión numéricamente compleja de la matriz triangular R para determinar valores estimados aproximativos $\bar{s}$ para los símbolos transmitidos del vector de símbolo de emisión $\underline{s}$. A partir de la línea k de la métrica $\|\underline{y} - \underline{R} \cdot \underline{s}\|^2$ de la ecuación (9) resulta el valor estimado aproximativo $\bar{s}_k^{(\alpha)}$ con $\alpha=1, \dots, M$ para la señal de emisión s_k emitida por la antena emisora k según la ecuación (10A).

- 20 **[0032]** En este contexto, a partir de uno de los en total M valores estimados más exactos $\hat{s}_{k+1}^{(\alpha)}$ con $\alpha=1, \dots, M$,

ya determinados en la siguiente capa superior $k+1$, y su historia de ruta $\begin{bmatrix} \hat{s}_{k+2}^{(\alpha)} & \dots & \hat{s}_{N_t}^{(\alpha)} \end{bmatrix}$ se lleva a cabo una corrección de los símbolos recibidos $\underline{r}=[r_1, \dots, r_k, \dots, r_{N_t}]$, que se transforman en la capa k mediante

ponderación con la matriz ortogonal Q^H , de valores estimados más exactos $\hat{s}_{k+1}^{(\alpha)}, \dots, \hat{s}_{N_t}^{(\alpha)}$ con $\alpha=1, \dots, M$ ya determinados en las capas superiores $k+1$ a N_t , que se transforman en la capa k mediante ponderación con los elementos de matriz $R_{k,k+1}^o, \dots, R_{k,N_t}^o$ de la matriz triangular superior R^o .

25

$$\bar{s}_k^{(\alpha)} = \frac{1}{R_{k,k}^o} \cdot \left(y_k - \sum_{v=k+1}^{N_t} R_{k,v}^o \cdot \hat{s}_v^{(\alpha)} \right) \quad (10A)$$

[0033] En caso de una matriz triangular inferior R^u según la ecuación (3B) se puede recurrir a las líneas individuales de la métrica, análogamente al caso de la matriz triangular superior, sucesivamente desde la capa 1 a N_t para determinar valores estimados aproximativos $\bar{s}$ para los símbolos transmitidos del vector de símbolo de emisión

5 $\underline{s}$, llevando a cabo según la ecuación (10B), a partir de uno de los en total M valores estimados más exactos $\hat{s}_{k-1}^{(\alpha)}$ con $\alpha=1, \dots, M$, ya determinados en la siguiente capa inferior $k-1$, y su historia de ruta $[\hat{s}_1^{(\alpha)} \dots \hat{s}_{k-1}^{(\alpha)}]$, una corrección de los símbolos recibidos $\underline{r}=[r_1, \dots, r_k, \dots, r_N]$, que se transforman en la capa k mediante ponderación con la matriz ortogonal Q^H , de valores estimados más exactos $\hat{s}_1^{(\alpha)}, \dots, \hat{s}_{k-1}^{(\alpha)}$ con $\alpha=1, \dots, M$ ya determinados en las capas inferiores 1 a $k-1$, que se transforman en la capa k mediante ponderación con los elementos de matriz $R_{k,1}^u, \dots, R_{k,k-1}^u$ de la matriz triangular inferior R^u .

$$\tilde{s}_k^{(\alpha)} = \frac{1}{R_{k,k}^u} \cdot \left(y_k - \sum_{v=1}^{k-1} R_{k,v}^u \cdot \hat{s}_v^{(\alpha)} \right) \quad (10B)$$

[0034] A partir de los hasta M valores estimados aproximativos $\tilde{s}_k^{(\alpha)}$ calculados en la capa k correspondiente para la señal de emisión s_k emitida por la antena emisora k se detecta un valor estimado más exacto $\hat{s}_{k-1}^{(\alpha)}$ formando para cada valor estimado aproximativo $\tilde{s}_k^{(\alpha)}$ una región de Voronoi $V(\tilde{s}_k^{(\alpha)})$ del diagrama de estado con el valor estimado aproximativo $\tilde{s}_k^{(\alpha)}$ como centro de la región de Voronoi $V(\tilde{s}_k^{(\alpha)})$, que presenta una pluralidad P de hipótesis de símbolo $\underline{s}_k$ reducida con respecto a la potencia $|S|$ del alfabeto de símbolos utilizado.

15 [0035] Una región de Voronoi $V(\underline{p}_j)$ con su centro $\underline{p}_j$ representa según la ecuación (11) una acumulación de puntos $\underline{x}$ que presentan una distancia al centro $\underline{p}_j$ de su región de Voronoi $V(\underline{p}_j)$ menor que la distancia a un centro $\underline{p}_j$ de una región de Voronoi $V(\underline{p}_j)$ adyacente.

$$V(\underline{p}_j) = \left\{ \underline{x} : |\underline{p}_j - \underline{x}| \leq |\underline{p}_i - \underline{x}| \forall i \neq j \right\} \quad (11)$$

[0036] Por consiguiente, la determinación de una región de Voronoi $V(\tilde{s}_k^{(\alpha)})$ del diagrama de estado con el valor estimado aproximativo $\tilde{s}_k^{(\alpha)}$ como centro de la región de Voronoi $V(\tilde{s}_k^{(\alpha)})$ y en total P hipótesis de símbolo $\underline{s}_k$ dentro de la región de Voronoi $V(\tilde{s}_k^{(\alpha)})$ proporciona las P hipótesis de símbolo, entre todas las M hipótesis de símbolo posibles $\underline{s}_{k,p}$, que presentan la menor distancia euclidiana $d_{k,p}^{(a)}$ con respecto al valor estimado aproximativo $\tilde{s}_k^{(\alpha)}$.

[0037] En la siguiente etapa, para cada uno de los hasta M valores estimados aproximativos $\tilde{s}_k^{(\alpha)}$ calculados en la capa k correspondiente se determinan las distancias euclidianas correspondientes $\underline{d}_k^{(a)}=[d_{k,1}^{(a)}, \dots, d_{k,p}^{(a)}, \dots, d_{k,p}^{(a)}]$ con respecto a cada una de las hipótesis de símbolo individuales $\underline{s}_{k,p}$ con $p=1, \dots, P$ de las en total P hipótesis de

25 símbolo $\underline{s}_k = \left[\underline{s}_{k,1}, \dots, \underline{s}_{k,p}, \dots, \underline{s}_{k,p} \right]$ dispuestas en la región de Voronoi $V(\tilde{s}_k^{(\alpha)})$ del valor estimado aproximativo $\tilde{s}_k^{(\alpha)}$ correspondiente. Estas distancias euclidianas individuales $\underline{d}_k^{(a)}=[d_{k,1}^{(a)}, \dots, d_{k,p}^{(a)}, \dots, d_{k,p}^{(a)}]$, que representan métricas de rama, se añaden a la métrica de ruta $M_{k+1}^{(a)}$ de la historia de ruta perteneciente al valor estimado aproximativo $\tilde{s}_k^{(\alpha)}$ correspondiente en la capa k de valores estimados más exactos $\hat{s}_{k+1}^{(a)}, \dots, \hat{s}_{N_t}^{(a)}$ ya determinados en las capas superiores $k+1$ a N_t en el caso de una descomposición $Q \cdot R$ en una matriz triangular superior R^o , o a la métrica de ruta $M_{k-1}^{(a)}$ de la historia de ruta perteneciente al valor estimado aproximativo $\tilde{s}_k^{(\alpha)}$ correspondiente en la capa k de valores estimados más exactos $\hat{s}_1^{(a)}, \dots, \hat{s}_{k-1}^{(a)}$ ya determinados en las capas inferiores 1 a $k-1$ en el caso de una descomposición $Q \cdot R$ en una matriz triangular inferior

R^u , dando como resultado una métrica de ruta $M_{k,p}^{(a)}$ perteneciente a la hipótesis de símbolo $\hat{s}_{k,p}^{(a)}$ correspondiente.

[0038] A partir de todas las métricas de ruta $\underline{M}_k^{(a)} = [M_{k,1}^{(a)}, \dots, M_{k,p}^{(a)}, \dots, M_{k,P}^{(a)}]$, con $a=1, \dots, M$, determinadas de este modo en la capa k correspondiente para todos los hasta M valores estimados aproximativos $\hat{s}_k^{(a)}$ y sus en total P

$$\underline{\hat{s}}_k^{(a)} = \left[\hat{s}_{k,1}^{(a)}, \dots, \hat{s}_{k,p}^{(a)}, \dots, \hat{s}_{k,P}^{(a)} \right]$$

5 hipótesis de símbolo correspondientes

[0039] Las M métricas de ruta $M_{k,p}^{(a)}$ más pequeñas, con $a=1, \dots, M$ y $p=1, \dots, P$, se resumen de acuerdo con la ecuación (12) en un vector de métrica de ruta $\underline{M}_k = [M_k^{(1)}, \dots, M_k^{(a)}, \dots, M_k^{(M)}]$ perteneciente a la capa k .

$$\hat{s}_{k,p}^{(a)}$$

[0040] Las hipótesis de símbolo $\hat{s}_{k,p}^{(a)}$ pertenecientes a las M métricas de ruta $M_{k,p}^{(a)}$ más pequeñas se identifican según la ecuación (13) como los en total M valores estimados más exactos $\underline{\hat{s}}_k = [\hat{s}_k^{(1)}, \dots, \hat{s}_k^{(M)}]$ determinados en la capa k .

10

$$\underline{M}_k = [M_k^{(1)}, \dots, M_k^{(a)}, \dots, M_k^{(M)}] = \min \{ M_{k,p}^{(a)}; \forall p = 1, \dots, P \wedge a = 1, \dots, M \} \quad (12)$$

$$\underline{\hat{s}}_k = [\hat{s}_k^{(1)}, \dots, \hat{s}_k^{(M)}] = \arg \left\{ \min \left\{ M_{k,p}^{(a)}(\underline{\hat{s}}); \forall p = 1, \dots, P \wedge a = 1, \dots, M \right\} \right\} \quad (13)$$

[0041] En la última etapa, en cuanto se han identificado los hasta M valores estimados más exactos $\underline{\hat{s}}_k = [\hat{s}_k^{(1)}, \dots, \hat{s}_k^{(M)}]$ con $k=1, \dots, N_t$ para todas las capas 1 a N_t y se han determinado las métricas de ruta pertenecientes a la última capa considerada $\underline{M}_{N_t} = [M_{N_t}^{(1)}, \dots, M_{N_t}^{(a)}, \dots, M_{N_t}^{(M)}]$ si se utiliza una matriz triangular superior R^o y $\underline{M}_1 = [M_1^{(1)}, \dots, M_1^{(a)}, \dots, M_1^{(M)}]$ si se utiliza una matriz triangular inferior R^u , a partir de todas las métricas de ruta determinadas se determina la métrica de ruta más pequeña M_{min} conforme a la ecuación (14A) o (14B) y la ruta perteneciente a la métrica de ruta más pequeña con los valores estimados óptimos $\underline{\hat{s}} = [\hat{s}_1, \dots, \hat{s}_{N_t}]$ para los símbolos transmitidos $\underline{s} = [s_1, \dots, s_k, \dots, s_{N_t}]$ en las capas independientes y en consecuencia transmitidos en un instante determinado por las antenas emisoras independientes $k=1, \dots, N_t$, conforme a la ecuación (15A) o (15B).

15

$$M_{min} = \min \{ M_1^{(1)}, \dots, M_1^{(a)}, \dots, M_k^{(M)} \} \quad (14A)$$

$$M_{min} = \min \{ M_{N_t}^{(1)}, \dots, M_{N_t}^{(a)}, \dots, M_{N_t}^{(M)} \} \quad (14B)$$

$$\underline{\hat{s}} = [\hat{s}_1, \dots, \hat{s}_{N_t}] = \arg \left\{ \min \left\{ M_1^{(a)}(\underline{\hat{s}}^{(a)}); a = 1, \dots, M \right\} \right\} \quad (15A)$$

$$\underline{\hat{s}} = [\hat{s}_1, \dots, \hat{s}_{N_t}] = \arg \left\{ \min \left\{ M_{N_t}^{(a)}(\underline{\hat{s}}^{(a)}); a = 1, \dots, M \right\} \right\} \quad (15B)$$

20

[0042] Mientras que en caso de un algoritmo de Viterbi se calculan en total $|S|^{N_t} = M^{N_t}$ métricas de ruta y/o rama y en caso de un algoritmo QRD-M convencional, que combina una descomposición $Q \cdot R$ y un algoritmo M, en la primera capa considerada se calculan en total $|S| = M$ métricas de ruta y/o rama y en todas las demás capas $N_t - 1$ se calculan respectivamente $M \cdot |S| = M \cdot M$ y, en consecuencia, en total se calculan $(N_t - 1) \cdot M \cdot M + M$ métricas de ruta y/o rama según

la figura 1, en el procedimiento según la invención la cantidad N_B de las métricas de ruta y/o rama que se han de calcular en total se reduce según la ecuación (16) y la figura 2 a:

$$N_B = (N_t - 1) \cdot M \cdot P + P \leq (N_t - 1) \cdot M \cdot M + M \quad (16)$$

[0043] Si las antenas emisoras individuales emiten señales de transmisión con niveles de señal claramente diferentes, en caso de un nivel de ruido relativamente similar en todos los canales de transmisión, las relaciones señal-ruido entre las señales emitidas por las antenas emisoras individuales también son claramente diferentes. Por consiguiente, también es diferente la dificultad de la estimación de los símbolos transmitidos $\underline{s}=[s_1, \dots, s_k, \dots, s_{N_t}]$ en las capas individuales. Mientras que el símbolo recibido correspondiente al símbolo transmitido s_k con alto nivel de señal y corregido con respecto a todos los demás símbolos transmitidos $s_{i \neq k}$ presenta una dispersión relativamente baja

alrededor del valor estimado óptimo $\hat{s}_k$ y en consecuencia solo se requiere una comparación de métricas con una pluralidad pequeña de valores estimados para una detección correcta, la dispersión de un símbolo recibido correspondiente al símbolo transmitido s_k con bajo nivel de señal y corregido con respecto a todos los demás símbolos transmitidos $s_{i \neq k}$ alrededor del valor estimado óptimo $\hat{s}_k$ es relativamente alta y por consiguiente se requiere una comparación de métricas con una gran cantidad de valores estimados para una detección correcta.

[0044] Como medida de la altura del nivel de señal del símbolo de emisión a estimar en la capa k , de acuerdo con la ecuación (8) se recurre al elemento diagonal $R_{k,k}$ de la matriz triangular R , que representa la relación teórica de señal entre el símbolo s_k transmitido por la antena emisora k y estimado en la capa k y los símbolos individuales recibidos $\underline{r}=[r_1, \dots, r_k, \dots, r_{N_t}]$ transformados en la capa k , de tamaño y_k .

[0045] Por consiguiente, la cantidad M_k de las comparaciones de métricas en la capa k se obtiene mediante la ecuación (17):

$$M_k = N_B \cdot \frac{1/R_{k,k}}{\sum_{i=1}^{N_t} 1/R_{i,i}} \quad (17)$$

[0046] Dado que el cálculo de la cantidad M_k de las comparaciones de métricas conforme a la ecuación (17) no conduce forzosamente a un valor en números enteros, es necesario determinar con ayuda del método *Least-Squares* (mínimos cuadrados) un vector $\underline{M}=[M_1, \dots, M_{N_t}]^T$ con valores en números enteros para la cantidad M_k de las comparaciones de métricas a calcular en cada capa $k=1, \dots, N_t$ conforme a la ecuación (16). Para ello se introduce un vector

$$\underline{\bar{R}} = \frac{N_B}{\sum_{i=1}^{N_t} \frac{1}{R_{i,i}}} \cdot \left[\frac{1}{R_{1,1}}, \frac{1}{R_{2,2}}, \dots, \frac{1}{R_{N_t, N_t}} \right]^T$$

con elementos que incluyen respectivamente la fórmula de cálculo para la cantidad de comparaciones de métricas en cada capa sobre la base de la ecuación (17). El vector $\underline{M}$ buscado con valores en números enteros para la cantidad M_k de comparaciones de métrica a calcular en cada capa k se obtiene conforme a la ecuación (18) como solución del método de mínimos cuadrados-*least-squares* entre el vector buscado $\underline{M}$ y el vector predeterminado $\underline{\bar{R}}$.

$$\begin{aligned} \underline{M}_{LS} &= \arg \left\{ \min_{\underline{M} \in \mathbb{Z}^{N_t}} \|\underline{M} - \underline{\bar{R}}\|^2 \right\} \\ &= \arg \left\{ \min_{\underline{M} \in \mathbb{Z}^{N_t}} \left\{ \sum_{k=1}^{N_t} \left(M_k - N_B \cdot \frac{1/R_{k,k}}{\sum_{i=1}^{N_t} 1/R_{i,i}} \right)^2 \right\} \right\} \end{aligned} \quad (18)$$

[0047] De este modo, para cada elemento $(M_k)_{LS}$ del vector buscado $\underline{M}_{LS}$ se determina el valor en números enteros más cercano.

[0048] Para evitar que se produzca un redondeo a cero, y con ello una supresión de una ruta de viabilidad en el dendrograma o el diagrama de Trellis, o que la suma de los elementos $(M_k)_{LS}$ del vector buscado $\underline{M}_{LS}$

$$- \sum_{k=1}^{N_t} (M_k)_{LS} -$$

sobrepase la cantidad predeterminada N_B de las métricas de ruta que se han de calcular en total, la ecuación (18) se transforma en la ecuación (19), en la que se resta N_t-1 a N_B para, en el peor de los casos redondear hacia abajo solo una vez y redondear hacia arriba N_t-1 veces.

$$\underline{M}_{LS} = \arg \left\{ \min_{M \in \mathbb{Z}^{N_t}} \left\{ \sum_{k=1}^{N_t} (M_k - (N_B - (N_t - 1)) \cdot \frac{1/R_{k,k}}{\sum_{i=1}^{N_t} 1/R_{i,i}})^2 \right\} \right\} \quad (19)$$

[0049] La partición de la cantidad N_B de métricas de ruta a calcular entre las capas k individuales mediante ponderación de las capas k individuales a través de su correspondiente elemento diagonal inverso $R_{k,k}$ de la matriz triangular R conforme a las ecuaciones (17) a (19) constituye un ejemplo de realización preferente. No obstante, la invención también cubre cualquier otra partición de la cantidad N_B de métricas de ruta a calcular entre las capas k individuales, en la que las capas k individuales sean sometidas a partición de acuerdo con su relación señal-ruido de tal modo que a las capas débiles se les asignen más valores estimados, y por consiguiente más rutas de viabilidad, que a las capas fuertes.

[0050] La cantidad M_k de métricas de ruta a calcular para cada capa k conforme a la ecuación (18) o (19), en las métricas de ruta a calcular para la última capa N_t-1 en cada caso, a partir de la ecuación (16), respectivamente con P para los en total M valores estimados aproximativos $\tilde{s}_k^{(a)}$ a determinar para cada capa k para los símbolos s_k transmitidos en la capa k , se distribuye entre $M \cdot P$ métricas de rama o de ruta a calcular.

[0051] Para ello existen diversas variantes de realización para la distribución de la cantidad M_k de métricas de rama y/o de ruta a calcular por cada capa k entre una pluralidad determinada M_k de valores estimados aproximativos $\tilde{s}_k^{(a)}$ a determinar por cada capa k y una pluralidad determinada $\underline{P}_k = [P_k^{(1)}, \dots, P_k^{(M_k)}]$ de métricas de rama y/o de ruta a calcular, a partir de cada uno de los en total M_k valores estimados aproximativos $\tilde{s}_k^{(a)}$ seleccionados en la capa k .

[0052] En una primera variante de realización, a partir del valor estimado aproximativo más exacto $\hat{s}_{k\pm 1}^{(a)}$ determinado en la capa anterior (índice $k+1$ si se utiliza una matriz triangular superior R^o e índice $k-1$ si se utiliza una matriz triangular inferior R^u) con la métrica de ruta $M_{k\pm 1}^{(a)}$ más pequeña, entre todas las métricas de ruta proseguidas $\underline{M}_{k\pm 1} = [M_{k\pm 1}^{(1)}, \dots, M_{k\pm 1}^{(M_{k\pm 1})}]$ en la capa $k\pm 1$ correspondiente se calcula la métrica de ruta $M_{k,p}^{(a)}$ para

aquella hipótesis de símbolo $\underline{s}_k = \begin{bmatrix} s_{k,1} & \dots & s_{k,p} & \dots & s_{k,P} \end{bmatrix}$ de todas las hipótesis de símbolo $\underline{s}_k$ de la capa k que sigue al valor estimado

[0053] más exacto $\hat{s}_{k\pm 1}^{(a)}$ determinado en la capa $k\pm 1$ y que al mismo tiempo es la que está situada más cerca de los símbolos recibidos $\underline{r} = [r_1, \dots, r_k, \dots, r_{N_t}]$ transformados en la capa k .

[0054] A continuación se progresa sucesivamente con otros valores estimados más exactos $\hat{s}_{k\pm 1}^{(a)}$ en la capa $k\pm 1$ anteriormente procesada que presentan respectivamente la siguiente métrica de ruta mayor $M_{k\pm 1}^{(a)}$, y de modo

equivalente se calcula la métrica de ruta $M_{k,p}^{(a)}$ para aquella hipótesis de símbolo $\underline{s}_k = \begin{bmatrix} s_{k,1} & \dots & s_{k,p} & \dots & s_{k,P} \end{bmatrix}$ de todas las hipótesis de

símbolo $\underline{s}_k$ que sigue al valor estimado más exacto $\hat{s}_{k\pm 1}^{(a)}$ recién

seleccionado en la capa $k\pm 1$ y que al mismo tiempo es la que está situada más cerca de los símbolos recibidos $\underline{r} = [r_1, \dots, r_k, \dots, r_{N_t}]$ transformados en la capa k .

[0055] Una vez seleccionada una respectiva hipótesis de símbolo $S_{k,p}$ en la capa k a partir de todos los valores estimados más exactos $\hat{S}_{k\pm 1}^{(a)}$ determinados en la capa anterior $k\pm 1$ y después de calcular su métrica de ruta $M_{k,p}^{(a)}$, comenzando por el valor estimado más exacto $\hat{S}_{k\pm 1}^{(a)}$ determinado en la capa $k\pm 1$ seleccionado en primer lugar en la primera pasada de determinación se selecciona de nuevo y se calcula la métrica de ruta $M_{k,p}^{(a)}$ de

5 aquella hipótesis de símbolo $S_{k,p}$ de todas las hipótesis de símbolo restantes $\underline{S}_k = \begin{bmatrix} S_{k,1} & \dots & S_{k,p} & \dots & S_{k,P} \end{bmatrix}$ en la capa k que está situada en el segundo lugar más próximo a los símbolos recibidos $\underline{r}=[r_1, \dots, r_k, \dots, r_{Nr}]$ transformados en la capa k .

[0056] Este proceso continúa con todos los demás valores estimados más exactos $\hat{S}_{k\pm 1}^{(a)}$ determinados en la capa $k\pm 1$ y todas las demás hipótesis de símbolo $S_{k,p}$ para determinar un valor estimado más exacto $\hat{S}_k^{(a)}$ a

10 determinar que siga en la capa k al valor estimado más exacto $\hat{S}_{k\pm 1}^{(a)}$ determinado en la capa $k\pm 1$, hasta determinar en la capa k en total una pluralidad M_k de comparaciones de métricas de rama y/o de ruta a calcular para la capa k .

[0057] En una segunda variante de realización, de nuevo a partir del valor estimado aproximativo más exacto $\hat{S}_{k\pm 1}^{(a)}$ determinado en la capa anterior $k\pm 1$ con la métrica de ruta $M_{k\pm 1}^{(a)}$ más pequeña se calcula la métrica de

15 ruta $M_{k,p}^{(a)}$ para aquella hipótesis de símbolo $S_{k,p}$ de todas las hipótesis de símbolo $\underline{S}_k = \begin{bmatrix} S_{k,1} & \dots & S_{k,p} & \dots & S_{k,P} \end{bmatrix}$ de la capa k que sigue al valor estimado más exacto $\hat{S}_{k\pm 1}^{(a)}$ determinado en la capa $k\pm 1$ y que al mismo tiempo es la que está situada más cerca de los símbolos recibidos $\underline{r}=[r_1, \dots, r_k, \dots, r_{Nr}]$ transformados en la capa k .

[0058] A continuación, a partir del mismo valor más exacto $\hat{S}_{k\pm 1}^{(a)}$ determinado en la capa $k\pm 1$ anterior se calcula

20 la métrica de ruta $M_{k,p}^{(a)}$ de aquella hipótesis de símbolo $S_{k,p}$ de todas las hipótesis de símbolo restantes $\underline{S}_k = \begin{bmatrix} S_{k,1} & \dots & S_{k,p} & \dots & S_{k,P} \end{bmatrix}$ en la capa k que está situada en el segundo lugar más próximo a los símbolos recibidos $\underline{r}=[r_1, \dots, r_k, \dots, r_{Nr}]$ transformados en la capa k .

[0059] Si se han calculado las métricas de ruta $M_{k,p}^{(a)}$ para todas las hipótesis de símbolo restantes $\underline{S}_k = \begin{bmatrix} S_{k,1} & \dots & S_{k,p} & \dots & S_{k,P} \end{bmatrix}$ en la capa k a partir del mismo valor más exacto $\hat{S}_{k\pm 1}^{(a)}$

25 determinado en la capa $k\pm 1$ anterior y todavía no se ha calculado una pluralidad M_k de métricas de rama y/o de ruta a calcular, determinada para la capa k , partiendo del valor más exacto $\hat{S}_{k\pm 1}^{(a)}$ determinado en la capa $k\pm 1$ anterior que presenta respectivamente la siguiente métrica de ruta $M_{k\pm 1}^{(a)}$ mayor se calculan de nuevo aquellas hipótesis de

30 símbolo $S_{k,p}$ de todas las hipótesis de símbolo restantes $\underline{S}_k = \begin{bmatrix} S_{k,1} & \dots & S_{k,p} & \dots & S_{k,P} \end{bmatrix}$ en la capa k que son las que están situadas respectivamente más cerca de los símbolos recibidos $\underline{r}=[r_1, \dots, r_k, \dots, r_{Nr}]$ transformados en la capa k .

[0060] De nuevo, este proceso continúa con todos los demás valores estimados más exactos $\hat{S}_{k\pm 1}^{(a)}$ determinados en la capa $k\pm 1$ y todas las demás hipótesis de símbolo $S_{k,p}$ para determinar un valor estimado más exacto $\hat{S}_{k\pm 1}^{(a)}$ a determinar que siga en la capa k al valor estimado más exacto $\hat{S}_{k\pm 1}^{(a)}$ determinado en la capa $k\pm 1$, hasta determinar en la capa k en total una pluralidad M_k de comparaciones de métricas de rama y/o de ruta a calcular para la capa k .

[0061] En una tercera variante de realización, para determinar valores estimados más exactos $\hat{S}_k^{(a)}$ en la capa k correspondiente, a partir de todos los $M_{k\pm 1}$ valores estimados más exactos $\hat{S}_{k\pm 1}^{(a)}$ determinados en la capa $k\pm 1$ anterior se selecciona respectivamente una pluralidad constante $P_k^{(1)}=P_k^{(2)}=\dots=P_k^{(M_k)}=P_k$ de hipótesis de símbolos $S_{k,p}$ entre todas las hipótesis de símbolos $\underline{S}_k = \begin{bmatrix} S_{k,1} & \dots & S_{k,p} & \dots & S_{k,p} \end{bmatrix}$ que son las que están situadas más cerca de los símbolos recibidos $\underline{r}=[r_1, \dots, r_k, \dots, r_{N_t}]$ transformados en la capa k . De este modo, para cada uno de los valores estimados más exactos $\hat{S}_{k\pm 1}^{(a)}$ determinados en la capa $k\pm 1$ anterior se selecciona al menos una hipótesis de símbolo siguiente $S_{k,p}$ entre todas las demás hipótesis siguientes respectivas caso $\underline{S}_k = \begin{bmatrix} S_{k,1} & \dots & S_{k,p} & \dots & S_{k,p} \end{bmatrix}$ en la capa k .

[0062] Para determinar la cantidad $P_k^{(1)}=P_k^{(2)}=\dots=P_k^{(M_k)}=P_k$ de hipótesis de símbolos $S_{k,p}$ por cada ruta a proseguida, la cantidad M_k de métricas de ruta a calcular determinada para la capa k se ha de dividir entre la cantidad máxima M de valores estimados más exactos $\hat{S}_k^{(a)}$ proseguidos en cada capa k . Dado que la división normalmente no da como resultado un valor en números enteros para $P_k^{(1)}=P_k^{(2)}=\dots=P_k^{(M_k)}=P_k$, análogamente a la ecuación (18) o (19) en la determinación de valores en números enteros para los elementos del vector $\underline{M}$ se ha de recurrir al método *Least-Squares* conforme a las ecuaciones (20) y (21).

$$(\underline{P} = [P_1, \dots, P_k, \dots, P_{N_t}]^T)_{LS} = \arg \left\{ \min_{P \in \mathbb{Z}^{N_t}} \|\underline{P} - \underline{\bar{R}}\|^2 \right\}$$

$$= \arg \left\{ \min_{P \in \mathbb{Z}^{N_t}} \left\{ \sum_{k=1}^{N_t} \left(P_k - \frac{N_B}{M} \cdot \frac{1/R_{k,k}}{\sum_{i=1}^{N_t} 1/R_{i,j}} \right)^2 \right\} \right\} \quad (20)$$

$$(\underline{P})_{LS} = \arg \left\{ \min_{P \in \mathbb{Z}^{N_t}} \left\{ \sum_{k=1}^{N_t} \left(P_k - \frac{N_B \cdot (N_t - 1)}{M} \cdot \frac{1/R_{k,k}}{\sum_{i=1}^{N_t} 1/R_{i,j}} \right)^2 \right\} \right\} \quad (21)$$

[0063] La cuarta variante de realización consiste en una modificación de la tercera variante de realización, en la que para determinar las métricas de rama y/o de ruta en la capa k correspondiente no se parte de todos los M valores estimados más exactos $\hat{S}_{k\pm 1}^{(a)}$ determinados en la capa $k\pm 1$ anterior, sino de una pluralidad $M_{k'}=M_k^{red}$, reducida con respecto a M , de valores estimados más exactos $\hat{S}_{k\pm 1}^{(a)}$ determinados en la capa $k\pm 1$ anterior, que

conforme a la ecuación (22) presentan una respectiva métrica de ruta $M_{k\pm 1}^{(a)}$ claramente menor en comparación con el resto de los valores estimados más exactos $\hat{S}_{k\pm 1}^{(a)}$ determinados en la capa $k\pm 1$ anterior.

$$M_k^{red} = AnzCantidad_{k\pm 1}^{(a)} | M_{k\pm 1}^{(a)} \ll M_{k\pm 1}^{(b)}; \forall a \neq b \in \{1, \dots, M\} \quad (22)$$

5 **[0064]** Las rutas de viabilidad de los valores estimados más exactos $\hat{S}_{k\pm 1}^{(a)}$ determinados en la capa $k\pm 1$ anterior y ya no proseguidos terminan en consecuencia en la capa $k\pm 1$ anterior.

[0065] A partir de las métricas de ruta de los valores estimados más exactos $\hat{S}_{k\pm 1}^{(a)}$ proseguidos y determinados en la capa $k\pm 1$ anterior se selecciona, análogamente a la tercera variante de realización, una respectiva cantidad

constante $P_k^{(1)}=P_k^{(2)}=\dots=P_k^{(M_k^{red})}=P_k$ de hipótesis de símbolos $S_{k,p}$ entre todas las hipótesis de símbolos $S_k = \begin{bmatrix} S_{k,1} & \dots & S_{k,p} & \dots & S_{k,p} \end{bmatrix}$ a partir de la ecuación (20).

10 **[0066]** En la quinta variante de realización, análogamente a la cuarta variante de realización, para determinar las métricas de ruta y/o de ruta en la capa k correspondiente no se parte de todos los M valores estimados más exactos $\hat{S}_{k\pm 1}^{(a)}$ determinados en la capa $k\pm 1$ anterior, sino de una pluralidad $M_k=M_k^{red}$, reducida con respecto a M ,

de valores estimados más exactos $\hat{S}_{k\pm 1}^{(a)}$ determinados en la capa $k\pm 1$ anterior, que presentan una respectiva métrica de ruta $M_{k\pm 1}^{(a)}$ claramente menor en comparación con el resto de los valores estimados más exactos

15 $\hat{S}_{k\pm 1}^{(a)}$ determinados en la capa $k\pm 1$ anterior. A diferencia de la cuarta variante de realización, en la quinta variante de realización no se selecciona respectivamente, a partir de las métricas de ruta $M_{k\pm 1}^{(a)}$ de los en total M_k^{red} valores estimados más exactos $\hat{S}_{k\pm 1}^{(a)}$ proseguidos y determinados en la capa $k\pm 1$ anterior, una cantidad constante

$P_k^{(1)}=P_k^{(2)}=\dots=P_k^{(M_k^{red})}=P_k$ de hipótesis de símbolos $S_{k,p}$ entre todas las hipótesis de símbolos $S_k = \begin{bmatrix} S_{k,1} & \dots & S_{k,p} & \dots & S_{k,p} \end{bmatrix}$, sino que se calcula una respectiva pluralidad $P_k^{(1)}, P_k^{(2)}, \dots, P_k^{(M_k^{red})}$ de

20 métricas de ruta dependiente de la métrica de ruta $M_{k\pm 1}^{(a)}$ del valor estimado más exacto $\hat{S}_{k\pm 1}^{(a)}$ proseguido y determinado en la capa $k\pm 1$ anterior. La pluralidad $P_k^{(a)}$ de métricas de ruta a calcular es directamente proporcional

al nivel de la métrica de ruta $M_{k\pm 1}^{(a)}$ del valor estimado más exacto $\hat{S}_{k\pm 1}^{(a)}$ determinado en la capa $k\pm 1$ anterior, que se prosigue para el cálculo de las métricas de ruta $M_k^{(a)}$ correspondientes en la capa k . También en este caso, con ayuda del método *Least-Squares* a partir de la ecuación (18), conforme a la ecuación (23) se puede determinar un

25 valor en números enteros para la cantidad $P_k^{(a)}$ de métricas de ruta a partir del valor de la métrica de ruta $M_{k\pm 1}^{(a)}$ del valor estimado más exacto $\hat{S}_{k\pm 1}^{(a)}$ determinado en la capa $k\pm 1$ anterior.

$$\begin{aligned} (P_k = [P_k^{(1)}, \dots, P_k^{(M_k^{red})}])_{LS} &= \arg \left\{ \min_{P_k \in \mathbb{Z}^{N_k}} \| P_k - \overline{M}_{k\pm 1} \|^2 \right\} \\ &= \arg \left\{ \min_{P_k \in \mathbb{Z}^{N_k}} \left\{ \sum_{a=1}^{M_k^{red}} \left(P_k^{(a)} - \frac{M_k}{M_k^{red}} \cdot \frac{M_{k\pm 1}^{(a)}}{\sum_{a=1}^{M_k^{red}} M_{k\pm 1}^{(a)}} \right)^2 \right\} \right\} \quad (23) \end{aligned}$$

[0067] A continuación se explica, con referencia al diagrama de flujo de la figura 3A, una primera forma de realización del procedimiento según la invención para la detección de símbolos transmitidos en un sistema de transmisión de múltiples capas con cálculo de métrica de rama reducido, en el que se emplea una matriz triangular superior R^o .

5 **[0068]** Cuando se utiliza una matriz triangular superior R^o , las etapas de procedimiento S10 a S60 descritas a continuación se ejecutan de forma sucesiva comenzando por la capa N_t y terminando por la capa 1.

[0069] En la primera etapa de procedimiento S10 se calcula conforme a la ecuación (10A) un valor estimado aproximativo $\bar{s}_k^{(a)}$ para el símbolo s_k transmitido en la capa k correspondiente (representando k una variable de control para las capas actualmente consideradas entre las capas N_t y 1 en las etapas de procedimiento S10 a S60 individuales del procedimiento según la invención) y en consecuencia transmitido por la antena emisora k , a partir de valores estimados más exactos $\hat{s}_{N_t}^{(a)}, \dots, \hat{s}_{k+1}^{(a)}$ para los símbolos $s_{N_t}, \dots, s_{k+1}$ transmitidos por las antenas emisoras N_t a $k+1$, pertenecientes a una respectiva ruta a y ya determinados en etapas de cálculo previos para las capas N_t a $k+1$.

15 **[0070]** En este contexto, la variable a representa uno de un total de hasta M valores estimados aproximativos y/o más exactos proseguidos por cada capa N_t a 1 para los símbolos transmitidos en la capa N a 1 correspondiente y, por consiguiente, a partir de un algoritmo M corresponde a la cantidad M de estados proseguidos en cada etapa en un dendrograma o diagrama de Trellis, que corresponde a su vez al cardinal $|S|$ del alfabeto de símbolos utilizado en la modulación. Los valores estimados más exactos $\hat{s}_{N_t}^{(a)}, \dots, \hat{s}_{k+1}^{(a)}$ respectivamente unidos entre sí a través de las etapas individuales del dendrograma y/o el diagrama de Trellis constituyen respectivamente una ruta de viabilidad a . En lugar de una pluralidad fija M de valores estimados o estados por cada capa, correspondiente al cardinal $|S|$ del alfabeto de símbolos utilizado, también se puede emplear alternativamente una pluralidad M_k de valores estimados o estados por cada capa, dependiente del nivel de señal del símbolo s_k estimado en la capa k .

25 **[0071]** De acuerdo con la ecuación (10A), el valor estimado aproximativo $\bar{s}_k^{(a)}$ correspondiente para el símbolo s_k estimado en la capa k correspondiente y transmitido por la antena emisora k se obtiene a partir de la corrección en el espacio de los símbolos $r_1, \dots, r_k, \dots, r_{N_t}$ transformados en la capa k y respectivamente recibidos por la antena receptora 1 a N_t , de los valores estimados más exactos $\hat{s}_{N_t}^{(a)}, \dots, \hat{s}_{k+1}^{(a)}$ transformados en la capa k y pertenecientes a la ruta a correspondiente para los símbolos $s_{N_t}, \dots, s_{k+1}$ transmitidos por la antena emisora N_t a $k+1$. Estos valores estimados más exactos $\hat{s}_{N_t}^{(a)}, \dots, \hat{s}_{k+1}^{(a)}$ pertenecientes a la ruta a correspondiente para los símbolos $s_{N_t}, \dots, s_{k+1}$ transmitidos por la antena emisora N_t a $k+1$ constituyen los estados precursores o la historia de ruta del estado correspondiente al valor estimado aproximativo $\bar{s}_k^{(a)}$ a determinar para la capa k . La transformación de los símbolos $r_1, \dots, r_k, \dots, r_{N_t}$ respectivamente recibidos por la antena receptora 1 a N_t en la capa k tiene lugar mediante una ponderación o filtración previa de los símbolos $r_1, \dots, r_k, \dots, r_{N_t}$ respectivamente recibidos por la antena receptora 1 a N_t en un prefiltro con una matriz ortogonal Q^H , que resulta de una descomposición $Q \cdot R$ de la matriz de canal de transmisión H que describe el comportamiento de transmisión en el sistema de transmisión de múltiples capas entre las N_t antenas emisoras y las N_r antenas receptoras. La transformación de los valores estimados más exactos $\hat{s}_{N_t}^{(a)}, \dots, \hat{s}_{k+1}^{(a)}$ pertenecientes a la ruta a correspondiente para los símbolos $s_{N_t}, \dots, s_{k+1}$ transmitidos por la antena emisora N_t a $k+1$ en la capa k tiene lugar mediante una ponderación de los valores estimados más exactos $\hat{s}_{N_t}^{(a)}, \dots, \hat{s}_{k+1}^{(a)}$ con la matriz triangular superior R^o resultante de la descomposición $Q \cdot R$ de la matriz de canal de transmisión H .

40 **[0072]** En la siguiente etapa de procedimiento S20, para cada valor estimado aproximativo $\bar{s}_k^{(a)}$ individual calculado conforme a la etapa de procedimiento S10 para el símbolo s_k transmitido en la capa k correspondiente, de todos los hasta M o M_k valores estimados aproximativos a calcular por cada capa k , se determina una respectiva región de Voronoi $V(\bar{s}_k^{(a)})$ con las propiedades conforme a la ecuación (11), en cuyo centro está situado el valor estimado aproximativo $\bar{s}_k^{(a)}$ correspondiente y que contiene respectivamente una pluralidad P de hipótesis de $= (a)$ símbolo $\underline{s}_k$ del alfabeto de símbolos utilizado, que es menor que la cantidad total

45 **[0073]** M de símbolos del alfabeto de símbolos.

[0074] Ya se conocen diferentes algoritmos para determinar una región de Voronoi alrededor de un centro determinado. Dado que éstos no son adecuados para un procesamiento en tiempo real, con el alfabeto de símbolos utilizado y para diferentes valores de P y para determinadas hipótesis de símbolo de un respectivo juego de en total P hipótesis de símbolo se disponen en tablas los valores límite superior, inferior, izquierdo y derecho correspondientes de la respectiva región de Voronoi. Por consiguiente, mediante una comparación del valor

estimado aproximativo $\bar{s}_k^{(a)}$ con los valores límite individuales, que se puede realizar muy fácilmente en *hardware*, con un alfabeto de símbolos dado y un valor P dado es posible determinar muy rápidamente la región de Voronoi correspondiente y las P hipótesis de símbolo correspondientes.

- 5 **[0075]** En la siguiente etapa de procedimiento S30 se determinan para cada región de Voronoi $V(\bar{s}_k^{(a)})$ con $a=1, \dots, M$ de la capa k las distancias euclidianas individuales $\underline{d}_k^{(a)} = [d_{k,1}^{(a)}, \dots, d_{k,p}^{(a)}, \dots, d_{k,p}^{(a)}]$ entre el valor estimado aproximativo $\bar{s}_k^{(a)}$ perteneciente a la región de Voronoi $V(\bar{s}_k^{(a)})$ correspondiente para el símbolo s_k transmitido en

$$\underline{s}_k = \begin{bmatrix} s_{k,1} & \dots & s_{k,p} & \dots & s_{k,p} \end{bmatrix}$$

la capa k y todas las en total P hipótesis de símbolo individuales

que se encuentran dentro de la región de Voronoi $V(\bar{s}_k^{(a)})$ correspondiente.

- 10 **[0076]** Si no se determina ninguna pluralidad M de valores estimados aproximativos $\bar{s}_k^{(a)}$ o valores estimados más exactos $\hat{s}_k^{(a)}$ por cada capa, correspondiente a la potencia $|S|$ del alfabeto de símbolos utilizados, sino una pluralidad M_k de valores estimados aproximativos $\bar{s}_k^{(a)}$ o valores estimados más exactos $\hat{s}_k^{(a)}$ por cada capa k , dependiente de la altura del nivel de señal del símbolo s_k transmitido por la antena emisora k correspondiente, se ha de seleccionar una de las cinco variantes de realización anteriormente explicadas para distribuir la cantidad M_k de métricas de rama y/o de ruta a calcular por cada capa k entre una pluralidad determinada M_k'' de valores estimados
- 15 aproximativos $\bar{s}_k^{(a)}$ a determinar por cada capa k y entre una pluralidad determinada $\underline{P}_k = [P_k^{(1)}, \dots, P_k^{(M_k'')}]$ de métricas de rama y/o de ruta a calcular a partir de cada uno de los en total M_k'' valores estimados aproximativos $\bar{s}_k^{(a)}$ seleccionados en la capa k .

- 20 **[0077]** La determinación de las distancias euclidianas independientes $\underline{d}_k^{(a)} = [d_{k,1}^{(a)}, \dots, d_{k,p}^{(a)}, \dots, d_{k,p}^{(a)}]$ entre el valor estimado aproximativo $\bar{s}_k^{(a)}$ perteneciente a la región de Voronoi $V(\bar{s}_k^{(a)})$ correspondiente para el símbolo s_k transmitido en la capa k y una respectiva de las hipótesis de símbolo
- $$\underline{s}_k = \begin{bmatrix} s_{k,1} & \dots & s_{k,p} & \dots & s_{k,p} \end{bmatrix}$$
- que se encuentran dentro de la respectiva región de Voronoi $V(\bar{s}_k^{(a)})$, corresponde a un cálculo de métricas de rama entre dos etapas sucesivas de un dendrograma o un diagrama de Trellis con el algoritmo M o con cualquier otro algoritmo de búsqueda basado en el algoritmo de Viterbi.

- 25 **[0078]** En la siguiente etapa de procedimiento S40 se calcula, para cada hipótesis de símbolo individual $\underline{s}_{k,p}$ que se encuentra dentro de la región de Voronoi $V(\bar{s}_k^{(a)})$ perteneciente a la ruta a correspondiente de la capa k , la métrica de ruta $M_{k,p}^{(a)}$ correspondiente a partir de la adición de la distancia euclidiana $d_{k,p}^{(a)}$ determinada para la hipótesis de símbolo $\underline{s}_{k,p}$, que se encuentra dentro de la región de Voronoi $V(\bar{s}_k^{(a)})$ perteneciente a la ruta a correspondiente de la capa k , y la métrica de ruta $M_{k+1}^{(a)}$ de la historia de ruta $[\hat{s}_{k+1}^{(a)}, \dots, \hat{s}_{N_t}^{(a)}]$ perteneciente al valor estimado aproximativo $\bar{s}_k^{(a)}$ del símbolo s_k transmitido en la capa k , que está formada por los valores
- 30 estimados más exactos $\hat{s}_{N_t}^{(a)}, \dots, \hat{s}_{k+1}^{(a)}$ pertenecientes a la ruta a y determinados en la capa anterior N_t a $k+1$ para los símbolos $s_{N_t}, \dots, s_{k+1}$ transmitidos en las capas N_t a $k+1$. La métrica de ruta $M_{k+1}^{(a)}$ de la historia de ruta $[\hat{s}_{k+1}^{(a)}, \dots, \hat{s}_{N_t}^{(a)}]$ que pertenece al valor estimado aproximativo $\bar{s}_k^{(a)}$ del símbolo s_k transmitido en la capa k , está formada a su vez por la suma de las distancias euclidianas mínimas respectivas $d_{N_t}^{(a)}, \dots, d_{k+1}^{(a)}$ entre los valores estimados aproximativos $\bar{s}_{N_t}^{(a)}, \dots, \bar{s}_{k+1}^{(a)}$ ya determinados en las capas N_t a $k+1$ en etapas de cálculo previos y
- 35 valores estimados más exactos $\hat{s}_{N_t}^{(a)}, \dots, \hat{s}_{k+1}^{(a)}$.

[0079] En la siguiente etapa de procedimiento S50, a partir de todas las métricas de ruta $\underline{M}_k^{(a)} = [M_{k,1}^{(a)}, \dots, M_{k,p}^{(a)}, \dots, M_{k,p}^{(a)}]$, con $a=1, \dots, M$, determinadas en la capa k según la etapa de procedimiento S40, conforme a la ecuación (12) se identifican las hasta M o M_k métricas de ruta $M_{k,p}^{(a)}$ más pequeñas y se resumen en el vector de métrica de ruta $\underline{M}_k = [M_k^{(1)}, \dots, M_k^{(a)}, \dots, M_k^{(M)}]$ o $\underline{M}_k = [M_k^{(1)}, \dots, M_k^{(a)}, \dots, M_k^{(M_k)}]$. Las hipótesis de símbolo

$= (a)$

$s_{k,p}$ pertenecientes a las M o M_k métricas de ruta más pequeñas representan según la ecuación (13) los valores estimados más exactos $\hat{s}_k = [s_k^{(1)}, \dots, s_k^{(M)}]$ o $\hat{s}_k = [\hat{s}_k^{(1)}, \dots, \hat{s}_k^{(M_k)}]$ proseguidos en la capa k .

[0080] En la etapa de procedimiento final S60, conforme a la ecuación (14A) se determina la métrica de ruta más pequeña $M_{\min}$ a partir de las hasta M o M_1 métricas de ruta $\underline{M}_1 = [M_1^{(1)}, \dots, M_1^{(a)}, \dots, M_1^{(M)}]$ o $\underline{M}_1 = [M_1^{(1)}, \dots, M_1^{(a)}, \dots, M_1^{(M_1)}]$ determinadas en la capa 1. La ruta a perteneciente a la métrica de ruta más pequeña $M_{\min}$ con los valores estimados más exactos $(\hat{s}^{(a)})$ determinados en las capas individuales representa según la ecuación (15A) los valores estimados óptimos $\underline{s} = [\hat{s}_1, \dots, \hat{s}_{N_t}]$ para los símbolos (s) transmitidos en todas las capas.

[0081] En el diagrama de flujo de la figura 3B está representada la segunda forma de realización del procedimiento según la invención para la detección de símbolos transmitidos en un sistema de transmisión de múltiples capas con cálculo de métrica de rama reducido, en el que se utiliza una matriz triangular inferior R^u .

[0082] En la primera etapa de procedimiento S100 se calcula conforme a la ecuación (10B) un valor estimado aproximativo $\bar{s}_k^{(a)}$ para el símbolo s_k transmitido en la capa k correspondiente y en consecuencia transmitido por la antenna emisora k , a partir de valores estimados más exactos $\hat{s}_1^{(a)}, \dots, \hat{s}_{k-1}^{(a)}$ para los símbolos $s_1, \dots, s_{k-1}$ transmitidos por las antenas emisoras 1 a $k-1$, respectivamente pertenecientes a una ruta a y ya determinados en etapas de cálculo previos para las capas 1 a $k-1$.

[0083] En la segunda forma de realización, la variable a también representa uno de un total de hasta M o M_k valores estimados aproximativos y/o más exactos proseguidos por cada capa N_t a 1 para los símbolos transmitidos en la capa N_t a 1 correspondiente, correspondiendo M al cardinal $|S|$ del alfabeto de símbolos utilizado en la modulación y representando M_k una pluralidad de valores de estimación o estados por cada capa, que dependen del nivel de la señal del símbolo s_k estimado en la capa k .

[0084] De acuerdo con la ecuación (10B), el valor estimado aproximativo $\bar{s}_k^{(a)}$ correspondiente para el símbolo s_k estimado en la capa k correspondiente se obtiene a partir de la corrección en el espacio de los símbolos $r_1, \dots, r_k, \dots, r_{N_r}$ transformados en la capa k y respectivamente recibidos por la antenna receptora 1 a N_t , de los valores estimados más exactos $\hat{s}_1^{(a)}, \dots, \hat{s}_{k-1}^{(a)}$ transformados en la capa k y pertenecientes a la ruta a correspondiente para los símbolos transmitidos por la antenna emisora 1 a $k-1$. La transformación de los símbolos $r_1, \dots, r_k, \dots, r_{N_r}$ respectivamente recibidos por la antenna receptora 1 a N_t en la capa k tiene lugar mediante una ponderación o filtración previa de los símbolos $r_1, \dots, r_k, \dots, r_{N_r}$ respectivamente recibidos por la antenna receptora 1 a N_t en un prefiltro con una matriz ortogonal Q^H , que resulta de una descomposición $Q \cdot R$ de la matriz de canal de transmisión H que describe el comportamiento de transmisión en el sistema de transmisión de múltiples capas entre las N_t antenas emisoras y las N_r antenas receptoras. La transformación de los valores estimados más exactos $\hat{s}_1^{(a)}, \dots, \hat{s}_{k-1}^{(a)}$ pertenecientes a la ruta a correspondiente para los símbolos $s_{N_t}, \dots, s_{k-1}$ transmitidos por la antenna emisora 1 a $k-1$ en la capa k tiene lugar mediante una ponderación de los valores estimados más exactos $\hat{s}_1^{(a)}, \dots, \hat{s}_{k-1}^{(a)}$ con la matriz triangular inferior R^u resultante de la descomposición $Q \cdot R$ de la matriz de canal de transmisión H .

[0085] En la siguiente etapa de procedimiento S120, para cada valor estimado aproximativo $\bar{s}_k^{(a)}$ individual calculado conforme a la etapa de procedimiento S100 para el símbolo s_k estimado en la capa k correspondiente, de todos los hasta M valores estimados aproximativos calculados por cada capa k , se determina respectivamente, de forma equivalente a la etapa de procedimiento S20 de la forma de realización representada en el diagrama de flujo de la figura 3A, una región de Voronoi $V(\bar{s}_k^{(a)})$ con las propiedades conforme a la ecuación (11).

[0086] En la siguiente etapa de procedimiento S120 se determinan para cada región de Voronoi $V(\bar{s}_k^{(a)})$ de la capa k las distancias euclidianas individuales $d_k^{(a)} = [d_{k,1}^{(a)}, \dots, d_{k,p}^{(a)}, \dots, d_{k,p}^{(a)}]$ entre el valor estimado aproximativo $\bar{s}_k^{(a)}$ perteneciente a la región de Voronoi $V(\bar{s}_k^{(a)})$ correspondiente para el símbolo s_k transmitido en la capa k y todas

$$\underline{s}_k = \begin{bmatrix} s_{k,1} & \dots & s_{k,p} & \dots & s_{k,p} \end{bmatrix}$$

las en total P hipótesis de símbolo individuales dentro de la región de Voronoi $V(\bar{s}_k^{(a)})$ correspondiente.

[0087] Si se utiliza por cada capa una pluralidad M_k de valores estimados aproximativos $\bar{s}_k^{(a)}$ o valores estimados más exactos $\hat{s}_k^{(a)}$ dependiente de la altura del nivel de señal del símbolo s_k transmitido por la antena emisora k correspondiente, análogamente a la primera forma de realización se ha de seleccionar una de las cinco variantes de realización arriba explicadas para distribuir la cantidad M_k de métricas de rama y/o de ruta a calcular por cada capa k

5 entre una pluralidad determinada M_k'' de valores estimados aproximativos $\bar{s}_k^{(a)}$ a determinar

[0088] por cada capa k y entre una pluralidad determinada $\underline{P}_k=[P_k^{(1)}, \dots, P_k^{(M_k'')}]$ de métricas de rama y/o de ruta a calcular a partir de cada uno de los en total M_k'' valores estimados aproximativos $\bar{s}_k^{(a)}$ seleccionados en la capa k .

[0089] La determinación de las distancias euclidianas independientes $\underline{d}_k^{(a)}=[d_{k,1}^{(a)}, \dots, d_{k,p}^{(a)}, \dots, d_{k,p}^{(a)}]$ entre el valor estimado aproximativo $\bar{s}_k^{(a)}$ perteneciente a la región de Voronoi $V(\bar{s}_k^{(a)})$ correspondiente para el símbolo s_k transmitido en la capa k y respectivamente una de las hipótesis de símbolo

$$\underline{s}_k = \begin{bmatrix} s_{k,1} & \dots & s_{k,p} & \dots & s_{k,p} \end{bmatrix}$$

que se encuentran dentro de la respectiva región de Voronoi $V(\bar{s}_k^{(a)})$, corresponde a un cálculo de métricas de rama entre dos etapas sucesivas de un dendrograma o un diagrama de Trellis con el algoritmo M o con cualquier otro algoritmo de búsqueda basado en el algoritmo de Viterbi.

[0090] En la siguiente etapa de procedimiento S130 se calcula, para cada hipótesis de símbolo individual $\underline{s}_{k,p}$

15 que se encuentra dentro de la región de Voronoi $V(\bar{s}_k^{(a)})$ perteneciente a la ruta a correspondiente de la capa k , la métrica de ruta $M_{k,p}^{(a)}$ correspondiente a partir de la adición de la distancia eucladiana $d_{k,p}^{(a)}$ determinada para la

hipótesis de símbolo $\underline{s}_{k,p}$, que se encuentra dentro de la región de Voronoi $V(\bar{s}_k^{(a)})$ perteneciente a la ruta a de la capa k , y la métrica de ruta $M_{k+1}^{(a)}$ de la historia de ruta $[\hat{s}_{k+1}^{(a)}, \dots, \hat{s}_{N_t}^{(a)}]$ perteneciente al valor estimado aproximativo $\bar{s}_k^{(a)}$ del símbolo s_k transmitido en la capa k , que está formada por los valores estimados más exactos

20 $\hat{s}_1^{(a)}, \dots, \hat{s}_{k-1}^{(a)}$ pertenecientes a la ruta a y determinados en la capa anterior 1 a $k-1$ para los símbolos $s_1, \dots, s_{k-1}$ transmitidos en las capas 1 a $k-1$. La métrica de ruta $M_{k+1}^{(a)}$ de la historia de ruta $[\hat{s}_{k+1}^{(a)}, \dots, \hat{s}_{N_t}^{(a)}]$ que pertenece al valor estimado aproximativo $\bar{s}_k^{(a)}$ del símbolo s_k estimado en la capa k , está formada a su vez por la suma de las distancias euclidianas entre los valores estimados aproximativos $\bar{s}_1^{(a)}, \dots, \bar{s}_{k-1}^{(a)}$ ya determinados en las capas 1 a $k-1$ en etapas de cálculo previos y valores estimados más exactos $\hat{s}_1^{(a)}, \dots, \hat{s}_{k-1}^{(a)}$.

25 **[0091]** En la siguiente etapa de procedimiento S140, a partir de todas las métricas de ruta $\underline{M}_k^{(a)}=[M_{k,1}^{(a)}, \dots, M_{k,p}^{(a)}, \dots, M_{k,p}^{(a)}]$, con $a=1, \dots, M$, determinadas en la capa k según la etapa de procedimiento S40, conforme a la ecuación (12) se identifican las hasta M o M_k métricas de ruta $M_{k,p}^{(a)}$ más pequeñas y se resumen en el vector de métrica de ruta $\underline{M}_k=[M_k^{(1)}, \dots, M_k^{(a)}, \dots, M_k^{(M)}]$ o $\underline{M}_k=[M_k^{(1)}, \dots, M_k^{(a)}, \dots, M_k^{(M_k)}]$. Las hipótesis de símbolo $\underline{s}_{k,p}$ pertenecientes a las M o M_k métricas de ruta más pequeñas representan según la ecuación (13) los valores

30 estimados más exactos $\underline{s}_k=[\hat{s}_k^{(1)}, \dots, \hat{s}_k^{(M)}]$ o $\underline{s}_k=[\hat{s}_k^{(1)}, \dots, \hat{s}_k^{(M_k)}]$ proseguidos en la capa k .

[0092] En la etapa de procedimiento final S150, conforme a la ecuación (14b) se determina la métrica de ruta más pequeña $M_{\min}$ a partir de las hasta M o M_k métricas de ruta $\underline{M}_{N_t}=[M_{N_t}^{(1)}, \dots, M_{N_t}^{(a)}, \dots, M_{N_t}^{(M)}]$ o $\underline{M}_{N_t}=[M_{N_t}^{(1)}, \dots, M_{N_t}^{(a)}, \dots, M_{N_t}^{(M_k)}]$ determinadas en la capa N_t . La ruta a perteneciente a la métrica de ruta más pequeña $M_{\min}$ con los valores estimados más exactos $(\underline{s}^{(a)})$ determinados en las capas individuales representa según la

35 ecuación (15B) los valores estimados óptimos $\underline{s}=[\hat{s}_1, \dots, \hat{s}_{N_t}]$ para los símbolos $(\underline{s})$ transmitidos en todas las capas.

[0093] En la figura 4 está representado el diagrama de bloques del dispositivo según la invención para la detección de símbolos transmitidos en un sistema de transmisión de múltiples capas con cálculo de métrica de rama reducido.

40 **[0094]** En las $N_t=3$ antenas receptoras 1₁, 1₂ y 1₃ se reciben las señales de recepción r_1 , r_2 y r_3 formadas por un total de N_t señales de transmisión $\underline{s}$ superpuestas y se conducen al prefiltro 2, en el que tiene lugar un filtrado previo de las señales de recepción $\underline{r}=[r_1 \ r_2 \ r_3 \ \dots \ r_{N_{xt1}}]$ con la matriz ortogonal Q^H como matriz de prefiltro.

[0095] Las señales de recepción prefiltradas $Q^H \cdot \underline{r}$ se conducen a un estimador de secuencia de máxima verosimilitud (*Maximum-Likelihood*) 3, que determina un valor estimado óptimo $\underline{s}$ para el vector de señal de emisión

$\underline{s}$ en el diagrama de Trellis o el dendrograma mediante minimización de la métrica a partir de las tres siguientes etapas de procedimiento según la invención:

- cálculo sucesivo de varios valores estimados aproximativos $\bar{s}_k^{(a)}$ para cada capa k mediante solución sucesiva del sistema de ecuaciones de la métrica $M(\underline{s})$;

- 5 • determinación sucesiva de un valor estimado más exacto $\hat{s}_k^{(a)}$ mediante minimización de la distancia euclidiana entre el valor estimado aproximativo correspondiente $\bar{s}_k^{(a)}$ y una pluralidad P de hipótesis de símbolo $\underline{s}_k = (a)$ reducida con respecto a la potencia $|S|$ del alfabeto de símbolos, que en el diagrama de estado están posicionadas junto al valor estimado aproximativo $\bar{s}_k^{(a)}$, y
- 10 • detección de aquellos valores estimados más exactos $\hat{s}_k^{(a)}$ entre una pluralidad de hasta M o M_k valores estimados más exactos $\hat{s}_k^{(a)}$, como valores estimados óptimos $\hat{s}_k$ de los símbolos s_k transmitidos en las capas k individuales, que pertenecen a la ruta con la métrica de ruta mínima $\underline{M}^{(a)}$.

[0096] En la figura 5 está representada la tasa de error binario (BER) en función de la relación señal-ruido para diferentes algoritmos de detección y para una pluralidad diferente de estados. Los algoritmos de detección del estado actual de la técnica algoritmo *Zero-Forcing* (detector ZF) (algoritmo de forzado a cero), algoritmo *Minimum-Mean-Square-Error* (detector MMSE) (algoritmo de error cuadrático medio mínimo), algoritmo *Zero-Forcing* combinado con descomposición QR con o sin clasificación, algoritmo *Minimum-Mean-Square-Error* combinado con descomposición QR con o sin clasificación, algoritmo M con descomposición QR en caso de $M=5$ estados y cálculo de métrica de rama reducido $P=3$.

[0097] La invención no se limita a las formas de realización representadas. El procedimiento se desarrolla preferentemente asistido por ordenador o asistido por un procesador de señales digital. Todas las características descritas y/o representadas se pueden combinar entre sí dentro del marco de la invención. En particular se pueden combinar entre sí los ejemplos de realización de las figuras 3A y 3B.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para detección de símbolos ($s_1, \dots, s_k, \dots, s_{N_t}$) respectivamente transmitidos en un instante por una pluralidad N_t de antenas emisoras, a partir de símbolos ($r_1, \dots, r_k, \dots, r_{N_r}$) respectivamente recibidos respectivamente por una pluralidad N_r de antenas receptoras en un sistema de transmisión de múltiples capas con las siguientes etapas de procedimiento ejecutadas sucesivamente para cada capa k , comenzando por la capa N_t y terminando en la capa 1:

- 5 • cálculo de un valor estimado aproximativo ($\bar{s}_1^{(1)}$) para el símbolo (s_1) a estimar en la primera capa o de una pluralidad M de valores estimados aproximativos ($\bar{s}_k^{(1)}, \dots, \bar{s}_k^{(a)}, \dots, \bar{s}_k^{(M)}$) para el símbolo (s_k) a estimar en una capa k como diferencia, ponderada con el elemento diagonal inverso ($1/R_{k,k}$) de la capa k de una matriz de transmisión triangulada (R), a partir de los símbolos recibidos ($r_1, \dots, r_k, \dots, r_{N_r}$) transformados en la capa k mediante la matriz de transmisión triangulada (R) y los valores estimados más exactos ($\hat{s}_1^{(1)}, \dots, \hat{s}_{k-1}^{(1)}, \dots, \hat{s}_1^{(a)}, \dots, \hat{s}_{k-1}^{(a)}, \dots, \hat{s}_1^{(M)}, \dots, \hat{s}_{k-1}^{(M)}, \dots, \hat{s}_{N_t}^{(M)}$) transformados en la capa k , que ya han sido calculados y que preceden en una respectiva ruta a de un diagrama de estado, para símbolos ($s_{k+1}, \dots, s_{N_t}$) a estimar en una capa $k+1$ a N_t , resultando los estados pertenecientes al diagrama de estado de hipótesis de símbolo ($\underline{s}_k^{(a)}$) para los símbolos ($s_{k+1}, \dots, s_{N_t}$) a estimar respectivamente en las capas k ;

- 15 • determinación de una región de Voronoi ($V(\bar{s}_k^{(1)}), \dots, V(\bar{s}_k^{(a)}), \dots, V(\bar{s}_k^{(M)})$) en un diagrama de constelación para cada valor estimado aproximativo ($\bar{s}_k^{(1)}, \dots, \bar{s}_k^{(a)}, \dots, \bar{s}_k^{(M)}$) calculado en la capa k , en cuyo centro se encuentra el valor estimado aproximativo ($\bar{s}_k^{(1)}, \dots, \bar{s}_k^{(a)}, \dots, \bar{s}_k^{(M)}$) correspondiente, con una pluralidad P de hipótesis de símbolo ($\underline{s}_k^{(1)}, \dots, \underline{s}_k^{(a)}, \dots, \underline{s}_k^{(M)}$), reducida con respecto a la pluralidad M , para el símbolo (s_k) estimado en la capa k ;

- 20 • determinación de una respectiva distancia euclidiana ($\underline{d}_k^{(1)}, \dots, \underline{d}_k^{(a)}, \dots, \underline{d}_k^{(M)}$) entre cada valor estimado aproximativo individual ($\bar{s}_k^{(1)}, \dots, \bar{s}_k^{(a)}, \dots, \bar{s}_k^{(M)}$) del símbolo (s_k) estimado en la capa k y todas las hipótesis de símbolo ($\underline{s}_k^{(1)}, \dots, \underline{s}_k^{(a)}, \dots, \underline{s}_k^{(M)}$) dispuestas en la región de Voronoi correspondiente ($V(\bar{s}_k^{(1)}), \dots, V(\bar{s}_k^{(a)}), \dots, V(\bar{s}_k^{(M)})$), y determinación de una métrica de ruta ($\underline{M}_k^{(1)}, \dots, \underline{M}_k^{(a)}, \dots, \underline{M}_k^{(M)}$) para cada hipótesis de símbolo individual ($\underline{s}_k^{(1)}, \dots, \underline{s}_k^{(a)}, \dots, \underline{s}_k^{(M)}$) en la capa k mediante adición de la distancia euclidiana

- 25 ($\underline{d}_k^{(1)}, \dots, \underline{d}_k^{(a)}, \dots, \underline{d}_k^{(M)}$) respectivamente determinada y una métrica de ruta ($\underline{M}_{k+1}^{(1)}, \dots, \underline{M}_{k+1}^{(a)}, \dots, \underline{M}_{k+1}^{(M)}$) de distancias euclidianas mínimas sumadas ($\underline{d}_{k+1}^{(1)}, \dots, \underline{d}_{k+1}^{(a)}, \dots, \underline{d}_{k+1}^{(M)}, \dots, \underline{d}_{N_t}^{(1)}, \dots, \underline{d}_{N_t}^{(a)}, \dots, \underline{d}_{N_t}^{(M)}$) entre valores estimados más exactos ($\hat{s}_{k+1}^{(a)}, \dots, \hat{s}_{N_t}^{(a)}$) que preceden en la ruta a correspondiente y valores estimados aproximativos ($\bar{s}_{k+1}^{(a)}, \dots, \bar{s}_{N_t}^{(a)}$) para símbolos ($s_{k+1}, \dots, s_{N_t}$) estimados en la capa $k+1$ a N_t ;

- 30 • determinación de hasta M valores estimados más exactos ($\hat{s}_k^{(1)}, \dots, \hat{s}_k^{(a)}, \dots, \hat{s}_k^{(M)}$) para el símbolo (s_k) estimado en la capa k como las hipótesis de símbolo ($\underline{s}_{k,p}^{(a)}$) correspondientes respectivamente a las M métricas de ruta más pequeñas ($\underline{M}_{k,p}^{(a)}$) a partir de todas las métricas de ruta ($\underline{M}_k^{(1)}, \dots, \underline{M}_k^{(a)}, \dots, \underline{M}_k^{(M)}$) calculadas en la capa k ; y

- determinación de valores estimados óptimos ($\hat{s}$) para los símbolos ($\underline{s}$) estimados en todas las capas como los valores estimados más exactos ($\hat{s}^{(a)}$), pertenecientes a la ruta a con la métrica de ruta mínima ($\underline{M}_{1,p}^{(a)}$) en la capa 1, de los símbolos ($\underline{s}$) estimados en todas las capas.

- 35 2. Procedimiento para detección de símbolos ($s_1, \dots, s_k, \dots, s_{N_t}$) respectivamente transmitidos en un instante por una pluralidad N_t de antenas emisoras, a partir de símbolos ($r_1, \dots, r_k, \dots, r_{N_r}$) respectivamente recibidos por una pluralidad N_r de antenas receptoras en un sistema de transmisión de múltiples capas con las siguientes etapas de procedimiento ejecutadas sucesivamente para cada capa k , comenzando por la capa 1 y terminando en la capa N_t :

- 40 • cálculo de un valor estimado aproximativo ($\bar{s}_{N_t}^{(1)}$) para el símbolo (s_{N_t}) a estimar en la capa N_t o de una pluralidad M de valores estimados aproximativos ($\bar{s}_k^{(1)}, \dots, \bar{s}_k^{(a)}, \dots, \bar{s}_k^{(M)}$) para el símbolo (s_k) a estimar en una capa k como diferencia, ponderada con el elemento diagonal inverso ($1/R_{k,k}$) de la capa k de una matriz de transmisión triangulada

(R), a partir de los símbolos recibidos ($r_1, \dots, r_k, \dots, r_{N_t}$) transformados en la capa k mediante la matriz de transmisión triangularada (R) y los valores estimados más exactos ($\hat{s}_1^{(1)}, \dots, \hat{s}_{k-1}^{(1)}, \dots, \hat{s}_1^{(a)}, \dots, \hat{s}_{k-1}^{(a)}, \dots, \hat{s}_1^{(M)}, \dots, \hat{s}_{k-1}^{(M)}, \dots, \hat{s}_{N_t}^{(M)}$) transformados en la capa k , que ya han sido calculados y que preceden en una respectiva ruta a del diagrama de estado, para símbolos ($s_1, \dots, s_{k-1}$) a estimar en

- 5 una capa 1 a $k-1$, resultando los estados pertenecientes al diagrama de estado de hipótesis de símbolo ($\underline{s}_k^{(a)}$) para los símbolos ($s_{k+1}, \dots, s_{N_t}$) a estimar respectivamente en las capas k ;

• determinación de una región de Voronoi ($V(\bar{s}_k^{(1)}), \dots, V(\bar{s}_k^{(a)}), \dots, V(\bar{s}_k^{(M)})$) en un diagrama de constelación para cada valor estimado aproximativo ($\bar{s}_k^{(1)}, \dots, \bar{s}_k^{(a)}, \dots, \bar{s}_k^{(M)}$) calculado en la capa k , en cuyo centro se encuentra el valor estimado aproximativo ($\bar{s}_k^{(1)}, \dots, \bar{s}_k^{(a)}, \dots, \bar{s}_k^{(M)}$) correspondiente, con una pluralidad P de hipótesis de símbolo ($\underline{s}_k^{(1)}, \dots, \underline{s}_k^{(a)}, \dots, \underline{s}_k^{(M)}$), reducida con respecto a la cantidad M , para el símbolo (s_k) estimado en la capa k ;

• determinación de una respectiva distancia euclidiana ($d_k^{(1)}, \dots, d_k^{(a)}, \dots, d_k^{(M)}$) entre cada valor estimado aproximativo individual ($\bar{s}_k^{(1)}, \dots, \bar{s}_k^{(a)}, \dots, \bar{s}_k^{(M)}$) del símbolo (s_k) estimado en la capa k y todas las hipótesis de símbolo ($\underline{s}_k^{(1)}, \dots, \underline{s}_k^{(a)}, \dots, \underline{s}_k^{(M)}$) dispuestas en la región de Voronoi correspondiente ($V(\bar{s}_k^{(1)}), \dots, V(\bar{s}_k^{(a)}), \dots, V(\bar{s}_k^{(M)})$), y determinación de una métrica de ruta ($\underline{M}_k^{(1)}, \dots, \underline{M}_k^{(a)}, \dots, \underline{M}_k^{(M)}$) para cada hipótesis de símbolo individual ($\underline{s}_k^{(1)}, \dots, \underline{s}_k^{(a)}, \dots, \underline{s}_k^{(M)}$)

- 15 de símbolo individual ($\underline{s}_k^{(1)}, \dots, \underline{s}_k^{(a)}, \dots, \underline{s}_k^{(M)}$) en la capa k mediante adición de la distancia euclidiana ($d_k^{(1)}, \dots, d_k^{(a)}, \dots, d_k^{(M)}$) respectivamente determinada y una métrica de ruta ($\underline{M}_{k-1}^{(1)}, \dots, \underline{M}_{k-1}^{(a)}, \dots, \underline{M}_{k-1}^{(M)}$) de distancias euclidianas mínimas sumadas ($\underline{d}_1^{(1)}, \dots, \underline{d}_1^{(a)}, \dots, \underline{d}_1^{(M)}, \dots, \underline{d}_{k-1}^{(1)}, \dots, \underline{d}_{k-1}^{(a)}, \dots, \underline{d}_{k-1}^{(M)}$) entre valores estimados más exactos ($\hat{s}_1^{(a)}, \dots, \hat{s}_{k-1}^{(a)}$) que preceden en la ruta a correspondiente y valores estimados aproximativos ($\bar{s}_1^{(a)}, \dots, \bar{s}_{k-1}^{(a)}$) para símbolos ($s_1, \dots, s_{k-1}$) estimados en la capa 1 a $k-1$;

- 20 • determinación de hasta M valores estimados más exactos ($\hat{s}_k^{(1)}, \dots, \hat{s}_k^{(a)}, \dots, \hat{s}_k^{(M)}$) para el símbolo (s_k) estimado en la capa k como las hipótesis de símbolo ($\underline{s}_{k,p}^{(a)}$) correspondientes respectivamente a las M métricas de ruta más pequeñas ($\underline{M}_{k,p}^{(a)}$) a partir de todas las métricas de ruta ($\underline{M}_k^{(1)}, \dots, \underline{M}_k^{(a)}, \dots, \underline{M}_k^{(M)}$) calculadas en la capa k ; y

- determinación de valores estimados óptimos (s) para los símbolos (s) estimados en todas las capas como los valores estimados más exactos ($\hat{s}^{(a)}$), pertenecientes a la ruta a con la métrica de ruta mínima ($\underline{M}_{N_t,p}^{(a)}$) en la capa N_t , de los símbolos (s) estimados en todas las capas.

3. Procedimiento de detección según la reivindicación 1 o 2, **caracterizado porque** para determinar los símbolos recibidos ($r_1, \dots, r_k, \dots, r_{N_t}$) transformados en las capas 1 a N_t se lleva a cabo una descomposición ($Q \cdot R$) de una matriz de canal de transmisión (H) entre las antenas emisoras y las antenas receptoras en una matriz ortogonal (Q^H) y una matriz triangular (R), y una ponderación de los símbolos recibidos ($r_1, \dots, r_k, \dots, r_{N_t}$) con la matriz ortogonal (Q^H).

- 30 4. Procedimiento de detección según la reivindicación 3, **caracterizado porque** para determinar los valores estimados más exactos ($\hat{s}_1^{(1)}, \dots, \hat{s}_{k-1}^{(1)}, \dots, \hat{s}_1^{(2)}, \dots, \hat{s}_{k-1}^{(2)}, \dots, \hat{s}_1^{(M)}, \dots, \hat{s}_{k-1}^{(M)}, \dots, \hat{s}_{N_t}^{(M)}$) transformados respectivamente en las capas 1 a N_t se lleva a cabo una ponderación de los valores estimados más exactos ($\hat{s}_1^{(1)}, \dots, \hat{s}_{k-1}^{(1)}, \dots, \hat{s}_1^{(2)}, \dots, \hat{s}_{k-1}^{(2)}, \dots, \hat{s}_1^{(M)}, \dots, \hat{s}_{k-1}^{(M)}, \dots, \hat{s}_{N_t}^{(M)}$) ya determinados y precedentes en una respectiva ruta a del diagrama de estado con elementos de línea ($R_{v,v}$) de la matriz triangular (R) pertenecientes a la capa correspondiente.

5. Procedimiento de detección según una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado porque** la cantidad M de valores estimados aproximativos ($\bar{s}_k^{(1)}, \dots, \bar{s}_k^{(M)}$) a calcular para el símbolo (s_k) transmitido en la capa k respectiva corresponde al cardinal ($|A|$) del alfabeto de símbolo utilizado.

- 40 6. Procedimiento de detección según la reivindicación 3 o 4, **caracterizado porque** la cantidad M de valores estimados aproximativos ($\bar{s}_k^{(1)}, \dots, \bar{s}_k^{(M)}$) para el símbolo (s_k) transmitido en la capa k correspondiente consiste en

una pluralidad M_k de valores estimados aproximativos $(\bar{s}_k^{(1)}, \dots, \bar{s}_k^{(M)})$ dependiente de la capa k correspondiente, que es inversamente proporcional al elemento diagonal $R_{k,k}$ de la capa k en la matriz triangular R , calculándose la cantidad M_k de valores estimados aproximativos $(\bar{s}_k^{(1)}, \dots, \bar{s}_k^{(M)})$ dependiente de la capa k correspondiente mediante la siguiente fórmula matemática:

$$M_k = N_B \cdot \frac{1/R_{k,k}}{\sum_{i=1}^{N_i} 1/R_{i,j}}$$

5

siendo N_B la cantidad total de las distancias euclidianas a calcular en todas las capas.

7. Dispositivo para la detección de símbolos $(s_1, \dots, s_k, \dots, s_{Nt})$ respectivamente transmitidos en un instante por una pluralidad (N_t) de antenas emisoras, a partir de símbolos $(r_1, \dots, r_k, \dots, r_{Nr})$ respectivamente recibidos por una pluralidad (N_r) de antenas receptoras en un sistema de transmisión de múltiples capas con un prefiltro (2) para someter los símbolos recibidos $(r_1, \dots, r_k, \dots, r_{Nr})$ a un filtrado previo con una matriz de prefiltro y un estimador de secuencia (3)

10

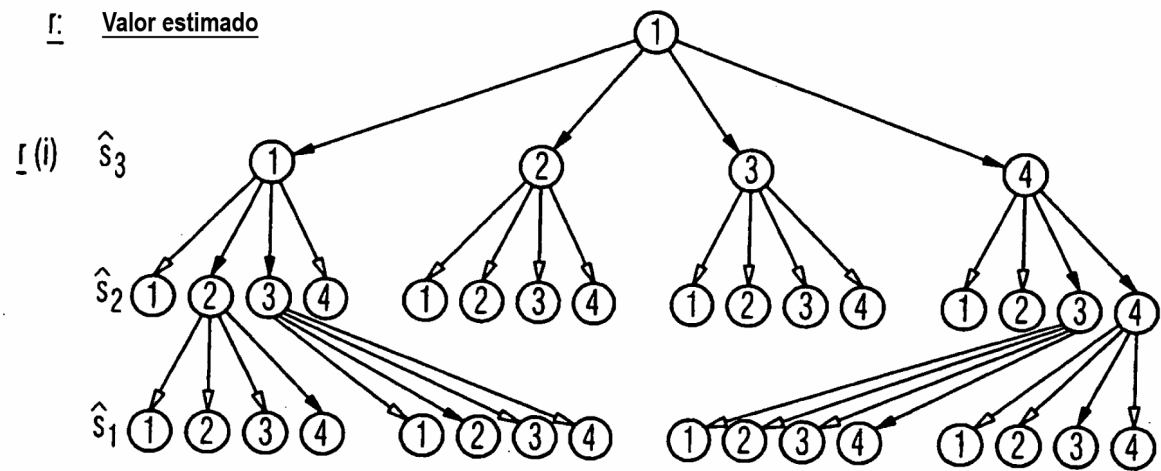
subsiguiente para estimar valores estimados óptimos $(\hat{s})$ para los símbolos transmitidos (s) mediante un dispositivo para el cálculo sucesivo de valores estimados aproximativos $(\bar{s}_k^{(a)})$ para símbolos (s_k) a estimar en cada capa (k) en cada ruta (a) en el diagrama de estado, mediante un dispositivo para la determinación sucesiva de valores estimados más exactos $(\hat{s}_k^{(a)})$ mediante minimización de una distancia euclidiana entre el valor estimado

15

aproximativo $(\bar{s}_k^{(a)})$ correspondiente y una pluralidad (P) de hipótesis de símbolo $(\underline{s}_k^{(a)})$, reducida con respecto al cardinal $(|S|)$ del alfabeto de símbolos, que está situada en el diagrama de constelación junto al valor estimado aproximativo $(\bar{s}_k^{(a)})$, y mediante un dispositivo para detectar valores estimados óptimos $(\hat{s}_k)$ para los símbolos

20

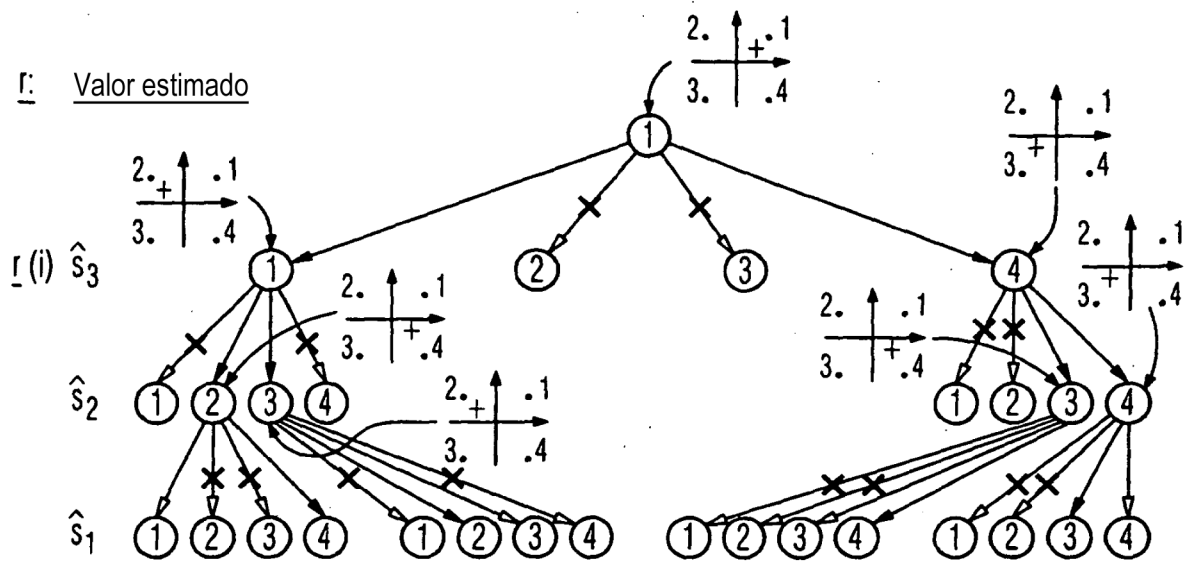
(s_k) estimados en las capas k individuales a partir de los valores estimados más exactos $(\hat{s}_k^{(a)})$ que pertenecen a una ruta completa del diagrama de estado con una métrica de ruta mínima $(M^{(a)})$, estando configurado el estimador de secuencia (3) de tal modo que ejecuta todas las etapas de un procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6.



Leyenda:

- > : Rama potencial y calculada
- > : Rama detectada y calculada
- ② : Estado / Hipótesis

Fig. 1



Leyenda

- $\longrightarrow$: Rama potencial y calculada
- $\longrightarrow$: Rama detectada y calculada
- $\times \longrightarrow$: Rama no calculada
- $+$: Posición del valor estimado aprox. $\tilde{s}_k^{(a)}$
en el diagrama de estado con modulación QPSK
- $\textcircled{2}$: Estado, hipótesis de símbolo $\bar{s}_{k,p}^{(a)}$

Fig. 2

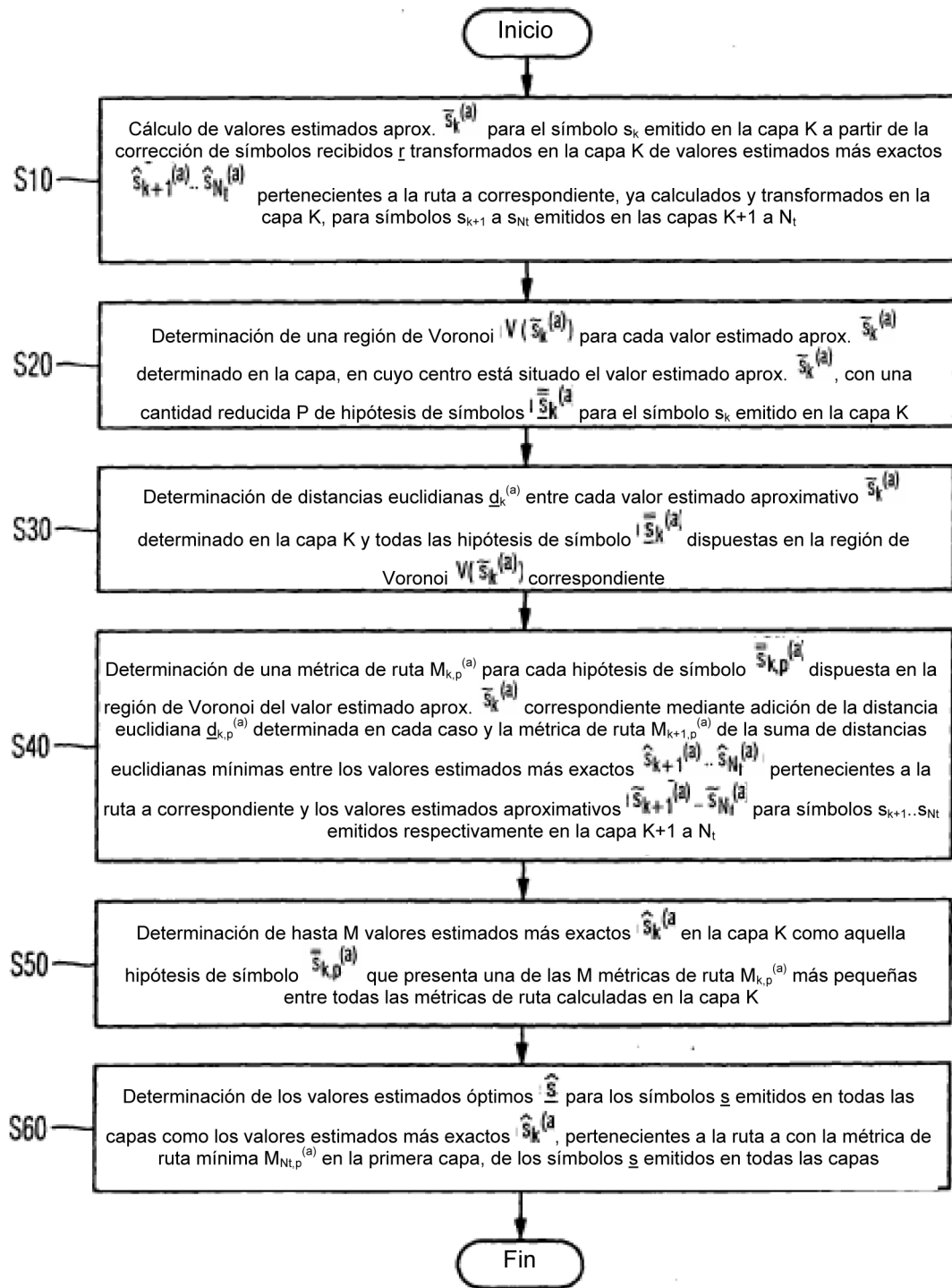


Fig. 3A

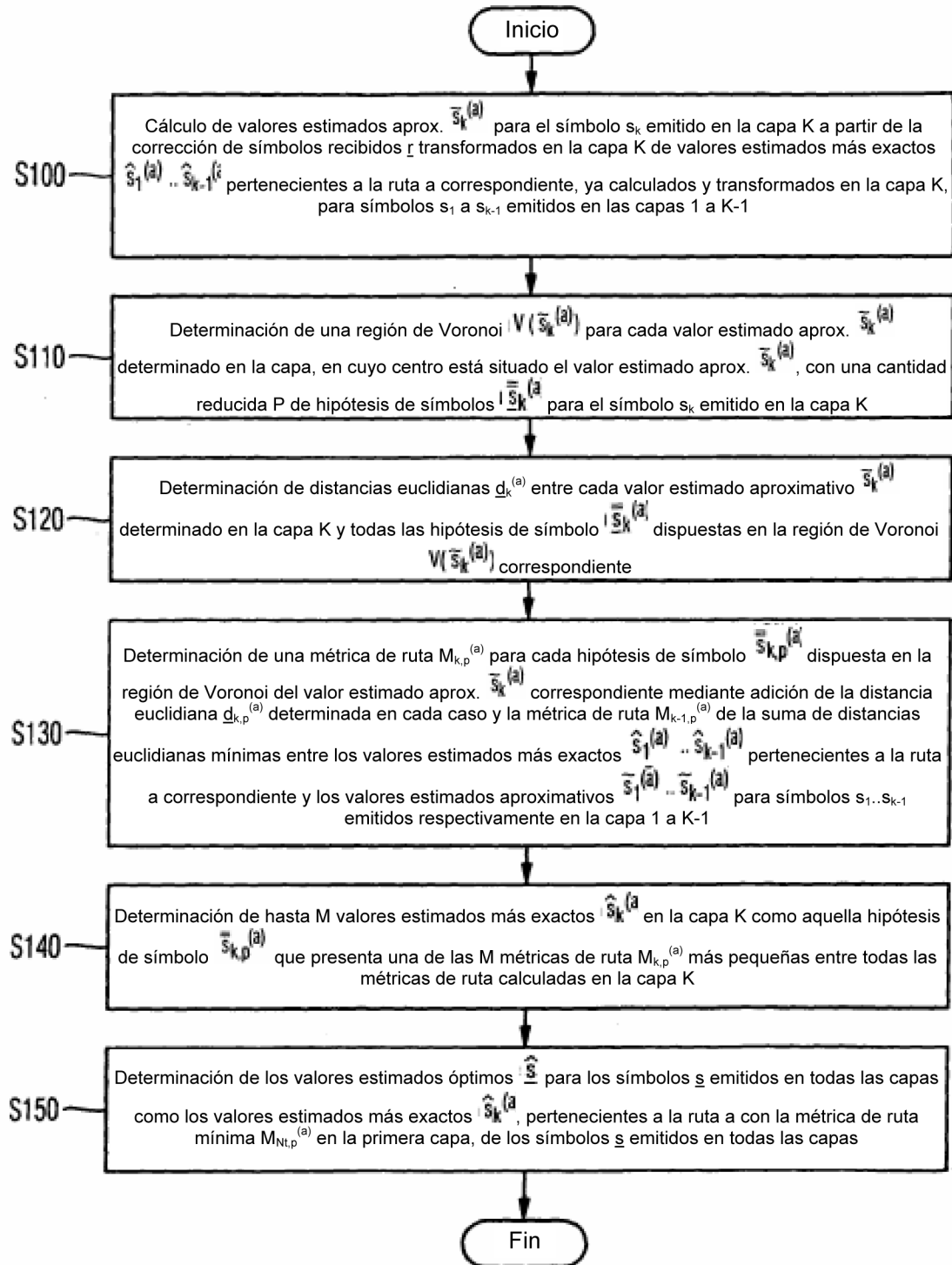


Fig. 3B

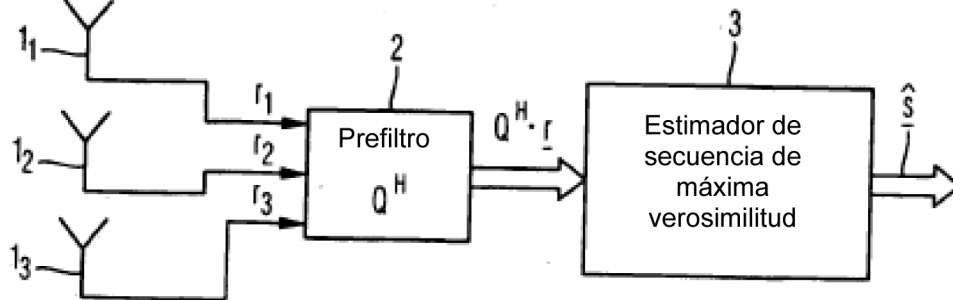


Fig. 4

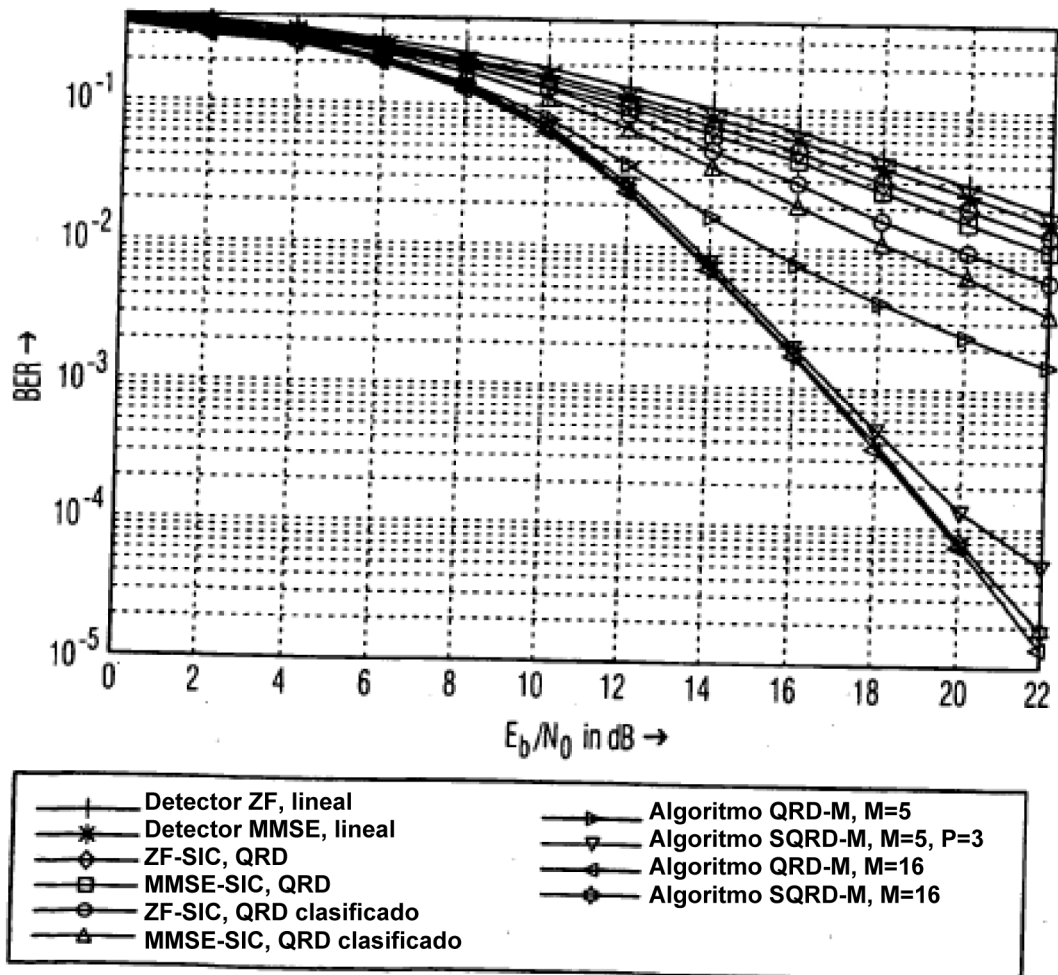


Fig. 5

REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN

5 La lista de referencias citada por el solicitante lo es solamente para utilidad del lector, no formando parte de los documentos de patente europeos. Aún cuando las referencias han sido cuidadosamente recopiladas, no pueden excluirse errores u omisiones y la OEP rechaza toda responsabilidad a este respecto.

Documentos de patente citado en la descripción

- EP 1246418 A2 [0005]

10 Bibliografía de patentes citada en la descripción

- **D.L. MILLINER et al.** A layer adaptive M algorithm for multiple-input multiple-output channel detection. *8th IEEE Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications*, 2007 [0008]
- **QRD Based Tree Search Data Dtection for MIMO Communication Systems. W.J. CHIN.** 61th IEEE Vehicular Technology Conference. Spring, 2005, vol. 3, 1624-1627 [0009]
- Performance Analysis of a Fixed-complexity a Sphere Decoder in High-Dimensional MIMO Systems. **L.G. BARBERO et al.** International IEEE Conference on Acoustics, Speech and Signal Proceedings. IEEE, 01. Januar 2006, IV 557-IV 559 [0010]