



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 355 926**

51 Int. Cl.:
H04L 25/03 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **08734861 .1**

96 Fecha de presentación : **28.03.2008**

97 Número de publicación de la solicitud: **2137915**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **30.12.2009**

54 Título: **Procedimiento y ecualizador para la detección de secuencias de símbolos de datos transmitidas a través de un canal de transmisión variable en el tiempo.**

30 Prioridad: **17.04.2007 DE 10 2007 018 094**
20.08.2007 DE 10 2007 039 159
26.11.2007 DE 10 2007 056 726

73 Titular/es: **ROHDE & SCHWARZ GmbH & Co. KG.**
Mühdorfstrasse 15
81671 München, DE

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.04.2011

72 Inventor/es: **Detert, Thorben**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.04.2011

74 Agente: **Carpintero López, Mario**

ES 2 355 926 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

La invención se refiere a un procedimiento y un ecualizador para la detección de secuencias de símbolos de datos transmitidas por un canal de transmisión variable en el tiempo con un reducido esfuerzo de tratamiento de las señales.

5 Pueden producirse perturbaciones en las señales recibidas en un canal de transmisión real (por ejemplo, en una red de comunicación móvil), entre otras cosas, por interferencias entre símbolos, por la superposición de diferentes señales de emisión que resultan de varios dispositivos emisores de comunicación móvil procedentes de celdas contiguas en la misma franja de frecuencias (perturbadores de canal común) o de diferentes franjas de frecuencias (perturbadores de canal secundario), o por la superposición de señales de emisión idénticas que emite un único usuario a través de diferentes emisores (diversidad en el lado de emisión con codificación de espacio y tiempo o diversidad generadora de retardos).

10 Una señal de recepción perturbadora que se presenta tras la demodulación como secuencia de símbolos de datos distorsionada debe transmitirse a un ecualizador en varias corrientes de datos correspondientes a las distintas secuencias de símbolos de datos enviadas. Un grupo importante de procedimientos de detección o ecualización son los procedimientos de máxima probabilidad (Maximum Likelihood), en los que las secuencias de símbolos de datos enviadas distorsionadas se comparan con todas las secuencias de símbolos de datos no distorsionadas posibles a partir de un alfabeto de símbolos de datos utilizado durante la modulación y se selecciona como estimación para la secuencia de símbolos de datos enviada la secuencia de símbolos de datos no distorsionada que presente una distancia euclidiana mínima respecto a la secuencia de símbolos de datos distorsionada recibida.

15 La complejidad de la estimación de las distintas secuencias de símbolos de datos en el ecualizador depende de la magnitud del alfabeto de símbolos utilizado y de la medida de las interferencias. La pluralidad de combinaciones de posibles secuencias de símbolos de datos se representa en un diagrama de estado, preferiblemente en un diagrama de Trellis, mediante estados seleccionados en la estimación. La selección de la secuencia de estados sucesivos de la pluralidad de secuencias de estados se optimiza, en el caso del algoritmo de Viterbi utilizado habitualmente, mediante la selección de una o varias de las denominadas "trayectorias de supervivencia".

20 Debido a la variabilidad en el tiempo del canal de transmisión, durante la minimización de la distancia euclidiana en cada transición de estado no solo ha de estimarse el símbolo de datos perteneciente al estado seleccionado en el instante actual, sino también la respuesta a impulso del canal de transmisión en el instante actual, lo que incrementa adicionalmente la complejidad de la estimación.

25 En la solicitud de patente anterior no publicada previamente DE102006029464.5, la métrica de la trayectoria que ha de minimizarse para la selección de los estados en las distintas trayectorias de supervivencia en el instante actual en relación con una estimación de los símbolos de datos transmitidos en el instante actual a través de los distintos canales de transmisión y también la estimación de las respuestas a impulso del canal correspondientes a los distintos canales de transmisión en el instante actual se calcula de forma iterativa.

30 Dado que, debido a la operación de plegado, al calcular la estimación de la secuencia de símbolos de datos recibida de forma correspondiente en instantes futuros se introducen valores de estimación para respuestas a impulso de canal y símbolos de datos enviados de forma correspondiente en el instante actual o en instantes precedentes que ya están determinados en el instante actual, estos pueden considerarse en un término de ampliación que, junto con la métrica de trayectoria calculada de forma iterativa, forma una métrica de trayectoria ampliada.

35 Dado que en el instante actual aún no se conocen símbolos de datos recibidos y enviados en el futuro, la métrica ampliada para el instante actual se determina como valor pronosticado de las diferencias entre los símbolos de datos recibidos en instantes futuros y los símbolos de datos de las secuencias de símbolos de datos enviadas en instante futuros ponderados con la respuesta a impulso estimada en el instante actual del canal de transmisión correspondiente, correspondiendo el número de los instantes futuros a la longitud de impulso, reducida el factor 1, de la respuesta a impulso de canal correspondiente.

40 De esta manera, se considera toda la energía del símbolo de datos enviado en el instante actual en la estimación de la secuencia de símbolos de datos recibida en el instante actual y, con ello, se minimiza el error de estimación en la corrección de una secuencia de símbolos de datos recibida que se transmite en un canal de transmisión correspondiente con una respuesta a impulso de canal con una longitud de impulso superior a 1.

45 En la introducción y el cálculo de una métrica de trayectoria ampliada durante la estimación de las distintas secuencias de símbolos de datos resulta desventajoso el esfuerzo numérico relativamente elevado en el tratamiento de las señales.

50 Por tanto, el objetivo de la invención es perfeccionar un procedimiento para la ecualización y un ecualizador de modo que en cada instante se realice una estimación combinada de la respuesta a impulso de canal y los símbolos de

datos mediante iteración con un reducido esfuerzo en el tratamiento de las señales.

El objetivo se alcanza mediante un procedimiento según la invención para la detección de secuencias de símbolos de datos transmitidas a través de un canal de transmisión variable en el tiempo con reducido esfuerzo en el tratamiento de las señales con las características de la reivindicación 1 y un ecualizador correspondiente según la invención con las características de la reivindicación 21.

En el procedimiento según la invención y el ecualizador según la invención se emplean, durante el cálculo de la métrica de trayectoria ampliada para los símbolos de datos enviados en instantes futuros, en lugar de valores esperados, valores nulos. De esta manera, la relación matemática para calcular la métrica de trayectoria ampliada se reduce el

término $\sum_{u=0}^U \sum_{n=0}^{\min(L_u, j-1)} \hat{h}_u(n)$. En consecuencia, en cada instante debe realizarse un esfuerzo en el tratamiento de las

señales reducido en este término matemático, en comparación con las enseñanzas técnicas de la solicitud DE102006029464.5.

Las siguientes ampliaciones ventajosas del procedimiento según la invención y el dispositivo según la invención se exponen en las reivindicaciones dependientes.

Al igual que en el algoritmo de Viterbi, en el instante actual se seleccionan los estados del diagrama de Trellis que presentan una métrica de trayectoria mínima. En una primera forma de realización de la invención, en la selección mediante la minimización de la métrica de trayectoria ampliada se consideran únicamente los estados que se desprenden de un estado común en el instante precedente, mientras que en la segunda forma de realización de la invención, en la selección de los estados mediante la minimización de la métrica de trayectoria ampliada, se utilizan todos los estados en el instante actual que se desprenden de todos los estados en el instante precedente.

El procedimiento según la invención puede consultar no solo, tal como se ha mostrado hasta el momento, el diagrama de Trellis primero "a lo ancho" tras una estimación óptima para la secuencia de símbolos de datos enviada de forma correspondiente (procedimiento "breadth first"), sino también, en otra forma de realización de la invención, consultar el diagrama de Trellis primero "en profundidad" tras una estimación óptima para la secuencia de símbolos de datos enviada de forma correspondiente (procedimiento "depth first") apoyándose en el algoritmo de pila (Stack).

Durante el cálculo iterativo de la métrica de trayectoria ampliada de un estado en el instante actual se añade a la métrica de trayectoria ampliada del estado precedente en el instante precedente la métrica de bifurcación correspondiente que se obtiene del producto de un primer y un segundo error de estimación a priori. A su vez, el primer o el segundo error de estimación a priori se obtiene de la diferencia entre la secuencia de símbolos de datos recibida hasta el instante actual y la estimación de la estimación ponderada con una respuesta a impulso del canal de transmisión correspondiente estimada para un primer o segundo instante de la secuencia de símbolos de datos enviada hasta el instante actual. El instante primero y segundo son en cada caso un instante diferente anterior al instante actual.

En lugar del producto de un primer y un segundo error de estimación a priori, también puede emplearse el producto de un error de estimación a priori y un error de estimación a posteriori. En este caso, el error de estimación a priori se obtiene de la diferencia entre la secuencia de símbolos de datos recibida hasta el instante actual y la estimación de la estimación de la secuencia de símbolos de datos enviada hasta el instante actual ponderada con una respuesta a impulso estimada en el instante precedente del canal de transmisión correspondiente, y el error de estimación a posteriori se obtiene de la diferencia entre la secuencia de símbolos de datos recibida hasta el instante actual y la estimación de la estimación de la secuencia de símbolos de datos enviada hasta el instante actual ponderada con una respuesta a impulso estimada en el instante actual del canal de transmisión correspondiente.

En otras formas de realización de la invención, pueden someterse los productos del primer o el segundo error de estimación a priori o los productos del error de estimación a priori y el error de estimación a posteriori a una función de formación de valor, a una función de formación de parte real o a otra función para simplificar los cálculos de las magnitudes compuestas por números complejos.

Mediante la introducción de un factor de ponderación, en el cálculo recursivo de las métricas de trayectoria ampliadas, símbolos de datos enviados con anterioridad pueden ponderarse con menor valor que símbolos de datos enviados con posterioridad.

Puede conseguirse una reducción adicional del esfuerzo en el tratamiento de las señales en caso de señales transmitidas a través de varios canales de transmisión que presentan potencias de señal claramente diferentes. Dado que en este caso las hipótesis de símbolos de datos de las señales de menor potencia son tan reducidas que pueden despreciarse frente a las hipótesis de símbolos de datos de las señales de mayor potencia, todas las hipótesis de símbolos de datos de las señales de menor potencia son aproximadamente equivalentes respecto a cada una de las hipótesis de símbolos de datos de cada señal de mayor potencia en relación con una minimización de la métrica. En caso

5 de que primariamente solo se esté interesado en la estimación de los símbolos de datos de señales de mayor potencia, estas hipótesis de símbolos de datos equivalentes de las señales de menor potencia conducen a varios estados equivalentes en el diagrama de Trellis y, con ello, a un seguimiento adicional de varias “trayectorias de supervivencia” equivalentes. Para reducir el número de “trayectorias de supervivencia” en un caso de este tipo, no se considera cada una de las hipótesis de símbolos de datos, sino únicamente un número reducido de hipótesis de símbolos de datos para cada señal de menor potencia. Cuanto mayor sea la relación entre la potencia de señal de las señales de mayor potencia y la potencia de señal de las señales de menor potencia, más bajo ha de fijarse el número reducido de hipótesis de símbolos de datos que ha de considerarse para cada señal de menor potencia.

10 La estimación de la respuesta a impulso de canal del canal de transmisión correspondiente no debe realizarse en cada instante. En caso de una respuesta a impulso de canal que cambia lentamente del correspondiente canal de transmisión, es posible una estimación en una mayor trama temporal. Si la respuesta a impulso de canal del correspondiente canal de transmisión solo cambia de forma no fundamental, entonces es suficiente con una estimación del canal únicamente al inicio de la transmisión.

15 A continuación, se explican de forma detallada mediante el dibujo las distintas formas de realización del procedimiento según la invención y el ecualizador según la invención para la detección de secuencias de símbolos de datos transmitidas por un canal de transmisión variable en el tiempo con un reducido esfuerzo en el tratamiento de las señales. Las figuras del dibujo muestran lo siguiente:

la fig. 1, un primer diagrama de Trellis para la estimación de la secuencia de símbolos de datos según el procedimiento según la invención;

20 la fig. 2, un segundo diagrama de Trellis para la estimación de la secuencia de símbolos de datos según el procedimiento según la invención;

la fig. 3, una representación global de términos relevantes para el cálculo de la métrica de trayectoria en diferentes instantes;

la fig. 4, un diagrama de bloques del sistema de transmisión según la invención,

25 la fig. 5, un diagrama de flujo del procedimiento según la invención, y

la fig. 6 una representación de la probabilidad de errores de bit en función de la potencia de señal de dos emisores en un procedimiento según el estado de la técnica y de acuerdo con el procedimiento según la invención.

30 Antes de presentar de forma detallada, mediante las figuras 4 y 5, el procedimiento según la invención para la detección de varias secuencias de símbolos de datos enviadas y transmitidas en cada caso por un canal de transmisión variable en el tiempo a partir de una señal de recepción, se describirán a continuación los fundamentos matemáticos necesarios para comprender el procedimiento según la invención:

El punto de partida del procedimiento según la invención es un modelo de señales variable o no variable en el tiempo de los canales de transmisión según la ecuación (1):

$$\underline{r}^{(k)} = \underline{D}^{(k)} \cdot \underline{h}^{(k)} + \underline{n}^{(k)} \quad (1)$$

35 Los canales de transmisión se utilizan para la estimación de las respuestas a impulso de los canales de transmisión en una primera fase con una secuencia \underline{d} de entrenamiento de símbolos de datos enviada de longitud L_t . Para estimar la respuesta a impulso del canal de transmisión correspondiente en los primeros instantes L_t puede emplearse un algoritmo de estimación de canal adaptivo sin consideración de la estadística del canal (por ejemplo, un algoritmo de mínimo cuadrático (Least Square)), con consideración de la estadística de canal desconocida (por ejemplo, un procedimiento de estimación de canal MMSE, estimación de mínimo error cuadrático medio), con consideración de la estadística de canal conocida (por ejemplo, un procedimiento de estimación de máxima probabilidad o su derivada) o una estimación inicial de canal ciega o semi-ciega.

40 En consecuencia, una estimación de los símbolos de datos enviados no puede realizarse en los primeros símbolos $(r(k), 0 \leq k \leq L_t - 1)$ de datos recibidos, sino en el instante L_t como muy pronto. Por consiguiente, el vector $\underline{r}^{(k)}$ de los símbolos de datos recibidos para la estimación del símbolo de datos enviado correspondiente en un instante k cualquiera comienza, según la ecuación (2), solo a partir del instante L_t

$$\underline{r}^{(k)} = [r(L_t), r(L_t + 1), \dots, r(k)]^T \quad (2)$$

De forma análoga, el vector $\underline{n}^{(k)}$ de ruido comienza también, según la ecuación (3), solo a partir del instante L_t .

$$\underline{n}^{(k)} = [n(L_t), n(L_t + 1), \dots, n(k)]^T \quad (3)$$

El vector $\underline{h}^{(k)}$ contiene, según la ecuación (4), las respuestas a impulso de los distintos canales de transmisión:

$$\underline{h}^{(k)} = [\underline{h}_1^{(k)T}, \dots, \underline{h}_u^{(k)T}, \dots, \underline{h}_U^{(k)T}]^T \quad (4)$$

5 En este caso, se obtiene la respuesta $\underline{h}_u^{(k)T}$ a impulso del canal de transmisión de orden u según la ecuación (5).

$$\underline{h}_u^{(k)T} = (h_u(0), h_u(1), \dots, h_u(L_{hu} - 1))^T \quad (5)$$

En consecuencia, la matriz de Toeplitz $\underline{D}_u^{(k)}$ de los símbolos de datos enviados por el emisor de orden u se obtiene según la ecuación (6):

$$10 \quad \underline{D}_u^{(k)} = \begin{bmatrix} d_u(L_t) & d_u(L_t - 1) & \dots & d_u(L_t - (L_h - 1)) \\ d_u(L_t + 1) & d_u(L_t) & \dots & d_u(L_t - (L_h - 2)) \\ d_u(L_t + 2) & d_u(L_t + 1) & \dots & d_u(L_t - (L_h - 3)) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ d_u(k) & d_u(k - 1) & \dots & d_u(k - (L_h - 1)) \end{bmatrix} \quad (6)$$

Por consiguiente, la matriz de Toeplitz $\underline{D}^{(k)}$ en la ecuación (1) se compone, según la ecuación (7), de las distintas matrices de Toeplitz definidas para cada emisor según la ecuación (6).

$$\underline{D}^{(k)} = (\underline{D}_1^{(k)} \dots \underline{D}_u^{(k)} \dots \underline{D}_U^{(k)}) \quad (7)$$

15 Para la estimación de los símbolos de datos enviados en cada caso en el instante k de una secuencia \underline{r} de símbolos de datos recibida tras un total de \tilde{N} instantes según la ecuación (8), siendo \tilde{N} un instante N cualquiera prolongado la longitud L_h de impulso de la respuesta a impulso de canal correspondiente, se maximiza, aplicando el enfoque de máxima probabilidad, la probabilidad $P(\underline{D}^{(k)} / \underline{r})$ condicionada.

$$\underline{r} = [r(0), r(1), \dots, r(\tilde{N} - 1)]^T \quad \text{donde } \tilde{N} = N + L_h - 1 \quad (8)$$

20 La probabilidad $P(\underline{D}^{(k)} / \underline{r})$ condicionada de la secuencia \underline{r} de símbolos de datos puede aproximarse, según la ecuación (9), mediante la probabilidad $P(\underline{D}^{(k)} | \underline{r}^{(k)})$ condicionada de la secuencia $\underline{r}^{(k)}$ de símbolos de datos recibida hasta el instante k .

$$P(\underline{D}^{(k)} / \underline{r}) \approx P(\underline{D}^{(k)} / \underline{r}^{(k)}) \quad (9)$$

25 En la ecuación (9) no existe una identidad entre las dos probabilidades condicionadas, entre otras cosas, porque, debido al plegamiento de, por ejemplo, la secuencia de símbolos de datos $\underline{d}_u^{(k)} = [d_u(k), d_u(k - 1), d_u(k - 2), \dots, d_u(k - (L_h - 1))]^T$ enviada por el emisor de orden u con la respuesta \underline{h}_u a impulso de, por ejemplo, el canal de transmisión de orden u , también pueden estar contenidas partes de señal de la secuencia $\underline{d}_u^{(k)}$ de símbolos de datos enviada de forma correspondiente en las secuencias $\{r(i)\}_{i=k+1}^{k+L_h-1}$ de símbolos de datos recibidas tras el instante k .

Tras la aplicación de la regla de Bayes y el cálculo logarítmico de las probabilidades condicionadas en la ecuación (9) se obtiene la ecuación (10):

$$\ln P(\underline{D}^{(k)} | \underline{r}) \approx \ln \left(\frac{P(\underline{r}^{(k)} | \underline{D}^{(k)}) \cdot P(\underline{D}^{(k)})}{P(\underline{r}^{(k)})} \right) = \ln \left(\frac{f_{\underline{R}^{(k)} | \underline{D}^{(k)}}(\underline{r}^{(k)} | \underline{D}^{(k)}) \cdot P(\underline{D}^{(k)})}{f_{\underline{R}^{(k)}}(\underline{r}^{(k)})} \right) \quad (10)$$

5 Dado que todas las secuencias $\underline{D}^{(k)}$ de símbolos de datos se consideran con igual probabilidad, es válida la ecuación (11).

$$P(\underline{D}^{(k)}) = \text{constante.} \quad (11)$$

La función $f_{\underline{R}^{(k)}}(\underline{r}^{(k)})$ de densidad de probabilidad de una secuencia $\underline{r}^{(k)}$ de símbolos de datos recibida hasta el instante k presenta una trayectoria idéntica para todas las secuencias $\underline{R}^{(k)}$ de símbolos de datos recibidas hasta cualquier instante k y, por tanto, no influye en la probabilidad $P(\underline{D}^{(k)} | \underline{r})$ condicionada.

10 Para un ruido de Gauss distribuido se obtiene la función de densidad de probabilidad $f_{\underline{R}^{(k)} | \underline{D}^{(k)}}(\underline{r}^{(k)} | \underline{D}^{(k)})$ según la ecuación (12), donde $\tilde{L}(\underline{D}^{(k)}, \underline{h}^{(k)}, \underline{r}^{(k)})$ es la función de probabilidad logarítmica, C_n es la matriz de covariancia de la señal n de ruido, I_n es la matriz de unidad y \bar{N} es la dimensión de la secuencia $\underline{r}^{(k)}$ de símbolos de datos recibida según la ecuación (13):

$$f_{\underline{R}^{(k)} | \underline{D}^{(k)}}(\underline{r}^{(k)} | \underline{D}^{(k)}) = \frac{1}{\pi^{\bar{N}} \cdot \det(C_n)} \cdot e^{-i(\underline{D}^{(k)}, \underline{h}^{(k)}, \underline{r}^{(k)})} \quad \text{donde } C_n = \sigma_\pi^2 \cdot I_\pi \quad (12)$$

$$15 \quad \bar{N} = k - L_t + 1 \quad (13)$$

Considerando las relaciones matemáticas en las ecuaciones (11) a (13), puede transformarse la relación matemática para la probabilidad condicionada calculada de forma logarítmica $\ln P(\underline{D}^{(k)} | \underline{r})$ partiendo de la ecuación (10) según la ecuación (14).

$$\ln P(\underline{D}^{(k)} | \underline{r}) \approx f_{\underline{R}^{(k)} | \underline{D}^{(k)}}(\underline{r}^{(k)} | \underline{D}^{(k)}) = -\tilde{L}(\underline{D}^{(k)}, \underline{h}^{(k)}, \underline{r}^{(k)}) - (k - L_t + 1) \ln \pi - \ln \sigma_\pi^2 \quad (14)$$

20 La función de probabilidad logarítmica $\tilde{L}(\underline{D}^{(k)}, \underline{h}^{(k)}, \underline{r}^{(k)})$ se obtiene, basándose en Kammeyer, K. D.: "Nachrichtenübertragung", Teubner-Verlag, 1996, pp. 554-555, según la ecuación (15):

$$\tilde{L}(\underline{D}^{(k)}, \underline{h}^{(k)}, \underline{r}^{(k)}) = \frac{1}{\sigma_\pi^2} (\underline{r}^{(k)} - \underline{D}^{(k)} \cdot \underline{h}^{(k)})^H \cdot (\underline{r}^{(k)} - \underline{D}^{(k)} \cdot \underline{h}^{(k)})^H \quad (15)$$

25 Dado que los dos últimos términos de la ecuación (14) solo contienen parámetros, no son fundamentales para la maximización de la probabilidad $P(\underline{D}^{(k)} | \underline{r})$ condicionada y pueden despreciarse. Por consiguiente, la probabilidad $P(\underline{D}^{(k)} | \underline{r})$ condicionada se maximiza cuando se minimiza la función de probabilidad logarítmica $\tilde{L}(\underline{D}^{(k)}, \underline{h}^{(k)}, \underline{r}^{(k)})$.

La relación matemática para la probabilidad $P(\underline{D}^{(k)} | \underline{r})$ condicionada en la ecuación (15) puede transformarse, partiendo de Träger, J.: "Kombinierte Kanalschätzung und Dekodierung für Mobilfunkkanäle", ISBN 3-8265-4336-X, Shaker-Verlag, Aachen, 1993, de forma correspondiente a la ecuación (16):

$$\begin{aligned} \tilde{L}(\underline{D}^{(k)}, \underline{h}^{(k)}, \underline{r}^{(k)}) &= \left[\underline{h}^{(k)} - (\underline{D}^{(k)H} \underline{D}^{(k)})^{-1} \underline{D}^{(k)H} \underline{r}^{(k)} \right]^H \\ & (\underline{D}^{(k)H} \underline{C}_\pi^{-1} \underline{D}^{(k)}) \left[\underline{h}^{(k)} - (\underline{D}^{(k)H} \underline{D}^{(k)})^{-1} \underline{D}^{(k)H} \underline{r}^{(k)} \right] \\ & - \underline{r}^{(k)H} \underline{C}_\pi^{-1} \underline{D}^{(k)} (\underline{D}^{(k)H} \underline{C}_\pi^{-1} \underline{D}^{(k)})^{-1} \underline{D}^{(k)H} \underline{C}_\pi^{-1} \underline{r}^{(k)} + \underline{r}^{(k)H} \underline{C}_\pi^{-1} \underline{r}^{(k)} \end{aligned} \quad (16)$$

En este caso se emplea una estimación de la respuesta $\underline{h}^{(k)}$ a impulso de canal según el algoritmo RLS (Reduced Least Squares Algorithmus, algoritmo de mínimo cuadrático reducido), según la ecuación (16).

$$\hat{\underline{h}}^{(k)} = (\underline{D}^{(k)H} \underline{D}^{(k)})^{-1} \cdot \underline{D}^{(k)H} \cdot \underline{r}^{(k)} \quad (17)$$

5 Como puede observarse sin dificultad, la forma cuadrática del primer término

$$\left[\underline{h}^{(k)} - (\underline{D}^{(k)H} \underline{D}^{(k)})^{-1} \underline{D}^{(k)H} \underline{r}^{(k)} \right]^H (\underline{D}^{(k)H} \underline{C}_\pi^{-1} \underline{D}^{(k)}) \left[\underline{h}^{(k)} - (\underline{D}^{(k)H} \underline{D}^{(k)})^{-1} \underline{D}^{(k)H} \underline{r}^{(k)} \right]$$

de la función de probabilidad logarítmica $\tilde{L}(\underline{D}^{(k)}, \underline{h}^{(k)}, \underline{r}^{(k)})$ se minimiza mediante el algoritmo RLS utilizado en este caso.

10 Además, dado que el tercer término $\underline{r}^{(k)H} \underline{C}_\pi^{-1} \underline{r}^{(k)}$ de la función de probabilidad logarítmica $\tilde{L}(\underline{D}^{(k)}, \underline{h}^{(k)}, \underline{r}^{(k)})$ no presenta una dependencia de la respuesta $\underline{h}^{(k)}$ a impulso de canal ni de la matriz de Toeplitz $\underline{D}^{(k)}$, puede utilizarse exclusivamente la forma al cuadrado del segundo término $-\underline{r}^{(k)H} \underline{C}_\pi^{-1} \underline{D}^{(k)} (\underline{D}^{(k)H} \underline{C}_\pi^{-1} \underline{D}^{(k)})^{-1} \underline{D}^{(k)H} \underline{C}_\pi^{-1} \underline{r}^{(k)}$ de la función de probabilidad logarítmica $\tilde{L}(\underline{D}^{(k)}, \underline{h}^{(k)}, \underline{r}^{(k)})$ para estimar el símbolo de datos enviado en el instante k. Para ello, se maximiza la métrica $M^{(k)}$ de trayectoria según la ecuación 18.

$$15 \quad M^{(k)} = \underline{r}^{(k)H} \cdot \underline{D}^{(k)} (\underline{D}^{(k)H} \cdot \underline{D}^{(k)})^{-1} \cdot \underline{D}^{(k)H} \cdot \underline{r}^{(k)} \quad (18)$$

Basándose en el algoritmo de Viterbi, debe calcularse la métrica $M^{(k)}$ de trayectoria según la ecuación (18) para estimar los símbolos de datos enviados en cada caso en cada instante k para cada estado en cada instante k. Dado que el cálculo de cada una de las distintas métricas $M^{(k)}$ de trayectoria es demasiado complejo, en lo sucesivo, para el procedimiento según la invención para la detección de varias secuencias de símbolos de datos enviadas y transmitidas en cada caso por un canal de transmisión variable en el tiempo se deduce de una señal recibida una métrica $M^{(k)}$ de trayectoria iterativa para la estimación de la máxima probabilidad de los símbolos de datos enviados en cada caso en el instante k y un valor de estimación iterativo de máxima probabilidad $\hat{\underline{h}}_1^{(k)}, \dots, \hat{\underline{h}}_u^{(k)}, \dots, \hat{\underline{h}}_U^{(k)}$ para las distintas respuestas a impulso de canal en el instante k.

25 La iteración se lleva a cabo en ambos casos en cada instante k de símbolo de datos a símbolo de datos. En general, en cada instante k ha de estimarse primero de forma iterativa la matriz de Toeplitz $\underline{D}^{(k)}$ y, basándose en la matriz de Toeplitz $\underline{D}^{(k)}$ estimada de forma iterativa, estimar de forma iterativa las respuestas $\hat{\underline{h}}_1^{(k)}, \dots, \hat{\underline{h}}_u^{(k)}, \dots, \hat{\underline{h}}_U^{(k)}$ a impulso de canal, que se utilizan a su vez para estimación iterativa de la matriz de Toeplitz $\underline{D}^{(k+1)}$ en el siguiente instante k + 1. De forma alternativa, la iteración de los valores de estimación $\hat{\underline{h}}_1^{(k)}, \dots, \hat{\underline{h}}_u^{(k)}, \dots, \hat{\underline{h}}_U^{(k)}$ de las respuestas a impulso de canal también puede realizarse mediante varios símbolos de datos.

35 Para el desarrollo de una iteración independiente en cada caso para los valores de estimación $\hat{\underline{h}}_1^{(k)}, \dots, \hat{\underline{h}}_u^{(k)}, \dots, \hat{\underline{h}}_U^{(k)}$ de las respuestas $\underline{h}_1^{(k)}, \dots, \underline{h}_u^{(k)}, \dots, \underline{h}_U^{(k)}$ a impulso de canal y para la métrica $\tilde{M}^{(k)}$ de trayectoria considerando los últimos valores de estimación calculados de forma iterativa de la otra magnitud de estimación en cada caso se introducen en un paso intermedio para el cálculo de los valores de estimación $\hat{\underline{h}}_1^{(k)}, \dots, \hat{\underline{h}}_u^{(k)}, \dots, \hat{\underline{h}}_U^{(k)}$ de las respuestas $\underline{h}_1^{(k)}, \dots, \underline{h}_u^{(k)}, \dots, \underline{h}_U^{(k)}$ a impulso de canal, según la ecuación (17),

las dos magnitudes auxiliares $\underline{v}^{(k)}$, según la ecuación (19), y $D^{(k)}$, según la ecuación (20).

$$\underline{v}^{(k)} = \underline{D}^{(k)H} \cdot \underline{r}^{(k)} \quad (19)$$

$$ID^{(k)} = \underline{D}^{(k)H} \cdot \underline{D}^{(k)} \quad (20)$$

5 Por tanto, los valores $\hat{\underline{h}}_1^{(k)}, \dots, \hat{\underline{h}}_u^{(k)}, \dots, \hat{\underline{h}}_U^{(k)}$ de estimación de las respuestas $\hat{\underline{h}}_1^{(k)}, \dots, \hat{\underline{h}}_u^{(k)}, \dots, \hat{\underline{h}}_U^{(k)}$ a impulso de canal pueden calcularse considerando las magnitudes auxiliares $\underline{v}^{(k)}$ y $D^{(k)}$ según la ecuación (21).

$$\hat{\underline{h}}^{(k)} = ID^{(k-1)} \cdot \underline{v}^{(k)} \quad (21)$$

Las dos magnitudes auxiliares, el vector $\underline{v}^{(k)}$ y la matriz $D^{(k)}$, pueden calcularse en cada caso de forma iterativa según las ecuaciones (22) y (23):

$$10 \quad \underline{v}^{(k)} = \underline{v}^{(k-1)} + \underline{d}^{(k)*} \cdot \underline{r}^{(k)} \quad (22)$$

$$ID^{(k)} = ID^{(k-1)} + \underline{d}^{(k)*} \cdot \underline{d}^{(k)T} \quad (23)$$

La secuencia $\underline{d}^{(k)}$ de símbolos de datos se obtiene, según la ecuación (24), de las secuencias $\underline{d}_1^{(k)}, \dots, \underline{d}_u^{(k)}, \dots, \underline{d}_U^{(k)}$ de símbolos de datos emitidas en cada caso por los distintos emisores $1_1, \dots, 1_u, \dots, 1_U$.

$$\underline{d}^{(k)} = (d_1(k)d_1(k-1) \dots d_1(k-(L_{h1}-1)) \dots d_u(k)d_u(k-1) \dots d_u(k-(L_{hu}-1)) \dots \dots d_U(k)d_U(k-1) \dots d_U(k-(L_{hU}-1))) \quad (24)$$

15 Dado que la secuencia $\underline{d}^{(k)}$ de símbolos de datos, en función del instante k y de las longitudes $L_{h1}, \dots, L_{hu}, \dots, L_{hU}$ de impulso de la respuesta $\hat{\underline{h}}_1^{(k)}, \dots, \hat{\underline{h}}_u^{(k)}, \dots, \hat{\underline{h}}_U^{(k)}$ a impulso de canal correspondiente, presenta, en determinadas circunstancias, símbolos de datos con índice negativo, estas son adecuadas para la inicialización (por ejemplo, $d_1(k), \dots, d_u(k), \dots, d_U(k) = 0 \quad \forall k < 0$).

20 Utilizando el lema de inversión de matrices basándose en Kammeyer, K. D.: "Nachrichtenübertragung", Teubner-Verlag, 1996, pp. 729-730, se obtiene la matriz inversa $\underline{D}^{(k-1)}$ de la matriz $\underline{D}^{(k)}$ según la ecuación (25) utilizando la ganancia de Kalman $g^{(k)}$ según la ecuación (26):

$$ID^{(k)-1} = ID^{(k-1)-1} - g^{(k)} \cdot \underline{d}^{(k)T} \cdot ID^{(k-1)-1} \quad (25)$$

$$g^{(k)} = ID^{(k-1)-1} \cdot \underline{d}^{(k)*} \cdot (1 + \underline{d}^{(k)T} \cdot ID^{(k-1)-1} \cdot \underline{d}^{(k)*})^{-1} \quad (26)$$

25 La ecuación (25) puede transformarse matemáticamente según la ecuación (27) y la ecuación (26) considerando la ecuación (27) según la ecuación (28).

$$ID^{(k)-1} \cdot \underline{d}^{(k)*} = g^{(k)} \cdot (1 + \underline{d}^{(k)T} \cdot ID^{(k-1)-1} \cdot \underline{d}^{(k)*}) \quad (27)$$

$$ID^{(k)-1} \cdot \underline{d}^{(k)*} = g^{(k)} \cdot (1 + \underline{d}^{(k)T} \cdot ID^{(k-1)-1} \cdot \underline{d}^{(k)*}) - g^{(k)} \cdot \underline{d}^{(k)T} \cdot ID^{(k-1)-1} \cdot \underline{d}^{(k)*} \quad (28)$$

A partir de la ecuación (28) se obtiene finalmente la relación matemática de la ganancia de Kalman $g^{(k)}$ según la ecuación (29):

$$30 \quad g^{(k)} = ID^{(k)-1} \cdot \underline{d}^{(k)*} \quad (29)$$

El cálculo iterativo de los valores $\hat{h}_1^{(k)}, \dots, \hat{h}_u^{(k)}, \dots, \hat{h}_U^{(k)}$ de las respuestas $\underline{h}_1^{(k)}, \dots, \underline{h}_u^{(k)}, \dots, \underline{h}_U^{(k)}$ a impulso de canal se obtiene, partiendo de la ecuación (21), considerando las ecuaciones (22), (25) y (29) en correspondencia con la ecuación (30):

$$\hat{h}_1^{(k)}, \dots, \hat{h}^{(k-1)} + g^{(k)} \cdot (r(k) - \hat{d}^{(k)T} \cdot \hat{h}^{(k-1)}) \quad (30)$$

5 Introduciendo el error $e^{(k|k-1)}$ de estimación a priori entre el símbolo $r(k)$ de datos recibido y las estimaciones $\hat{d}_1^{(k)T} \cdot \hat{h}_1^{(k-1)}, \dots, \hat{d}_u^{(k)T} \cdot \hat{h}_u^{(k-1)}, \dots, \hat{d}_U^{(k)T} \cdot \hat{h}_U^{(k-1)}$ de las secuencias $\underline{d}_1^{(k)T} \cdot \underline{h}_1^{(k-1)}, \dots, \underline{d}_u^{(k)T} \cdot \underline{h}_u^{(k-1)}, \dots, \underline{d}_U^{(k)T} \cdot \underline{h}_U^{(k-1)}$ de símbolos de datos recibidas que se obtienen de las ponderaciones de las estimaciones $\hat{d}_1^{(k)}, \dots, \hat{d}_u^{(k)}, \dots, \hat{d}_U^{(k)}$ de las secuencias $\underline{d}_1^{(k)}, \dots, \underline{d}_u^{(k)}, \dots, \underline{d}_U^{(k)}$ de símbolos de datos enviadas hasta el instante k con las respuestas $\hat{h}_1^{(k)}, \dots, \hat{h}_u^{(k)}, \dots, \hat{h}_U^{(k)}$ a impulso de canal

10 estimadas en el instante $k-1$ precedente, puede transformarse la fórmula de cálculo para el valor $\hat{h}^{(k)}$ de estimación de la respuesta $\underline{h}^{(k)}$ a impulso de canal según la ecuación (30) partiendo de la ecuación (31) de acuerdo con la ecuación (32).

$$e^{(k|k-1)} = r(k) - \hat{d}^{(k)T} \cdot \hat{h}^{(k-1)} \quad (31)$$

$$\hat{h}^{(k)} = \hat{h}^{(k-1)} + g^{(k)} \cdot e^{(k|k-1)} \quad (32)$$

15 El cálculo iterativo de la métrica $\hat{M}^{(k)}$ de trayectoria para la estimación de la máxima probabilidad de los símbolos $d_1^{(k)}, \dots, d_u^{(k)}, \dots, d_U^{(k)}$ de datos enviados en el instante k se obtiene, partiendo de la ecuación (18), considerando la relación matemática para la magnitud auxiliar $\underline{v}^{(k)}$ en la ecuación (17) y en la relación matemática para el valor de estimación $\hat{h}^{(k)}$ de la respuesta a impulso de canal en la ecuación (19) según la ecuación (33):

$$\tilde{M}^{(k)} = \underline{v}^{(k)H} \hat{h}^{(k)} \quad (33)$$

20 La ecuación (33) puede transformarse matemáticamente considerando la fórmula de cálculo iterativo para la magnitud auxiliar $\underline{v}^{(k)}$ en la ecuación (22) y para el valor de estimación $\hat{h}^{(k)}$ de la respuesta a impulso de canal en la ecuación (32) según la ecuación (33'):

$$\tilde{M}^{(k)} = (\underline{v}^{(k-1)H} + r(k) * \hat{d}^{(k)T}) (\hat{h}^{(k-1)} + g^{(k)} e^{(k|k-1)}) \quad (33')$$

25 La ecuación (33') puede transformarse considerando la relación matemática para el factor $g^{(k)}$ de ganancia de Kalman en la ecuación (26) y la fórmula de cálculo iterativo para la magnitud auxiliar $\underline{v}^{(k)}$ en la ecuación (22) según la ecuación (33''):

$$\tilde{M}^{(k)} = \underline{v}^{(k-1)H} \hat{h}^{(k-1)} + r(k) * \hat{d}^{(k)T} \hat{h}^{(k-1)} + \underline{v}^{(k)H} ID^{(k-1)} \hat{d}^{(k)*} e^{(k|k-1)} \quad (33'')$$

30 El primer término de la ecuación (33'') corresponde a la métrica $\tilde{M}^{(k-1)}$ de trayectoria en el instante $k-1$ precedente. El término $\underline{v}^{(k-1)H} D^{(k-1)}$ de la ecuación (33'') puede sustituirse, según la ecuación (32), por el valor $\hat{h}^{(k)}$ de estimación de la respuesta a impulso de canal. Finalmente, el lado derecho de la ecuación (33'') se amplía el cuadrado del valor de la secuencia $|r(k)|^2$ de símbolos de datos recibida y el término negativo de igual valor $-r(k)*r(k)$. Con ello, se origina la fórmula de cálculo iterativo mostrada en la ecuación (33''') para la métrica $\tilde{M}^{(k)}$ de trayectoria.

$$\tilde{M}^{(k)} = \tilde{M}^{(k-1)} r(k)^* \cdot (r(k) - \underline{\hat{d}}^{(k)T} \cdot \underline{\hat{h}}^{(k-1)}) + \underline{\hat{h}}^{(k)} \underline{\hat{d}}^{(k)*} e^{(k|k-1)} + |r(k)|^2 \quad (33'')$$

Considerando el error $e^{(k|k-1)}$ de estimación a priori según la ecuación (31) puede transformarse la ecuación (33'') según la ecuación (33''').

$$\tilde{M}^{(k)} = \tilde{M}^{(k-1)} - (r(k)^* - \underline{\hat{h}}^{(k)} \cdot \underline{\hat{d}}^{(k)*}) \cdot e^{(k|k-1)} + |r(k)|^2 \quad (33''')$$

5 Si se introduce el error $e^{(k|k)}$ de estimación a posteriori entre el símbolo $r(k)$ de datos recibido y las estimaciones $\underline{\hat{d}}_1^{(k)T} \cdot \underline{\hat{h}}_1^{(k-1)}, \dots, \underline{\hat{d}}_u^{(k)T} \cdot \underline{\hat{h}}_u^{(k-1)}, \dots, \underline{\hat{d}}_U^{(k)T} \cdot \underline{\hat{h}}_U^{(k-1)}$ de las secuencias $\underline{\hat{d}}_1^{(k)T} \cdot \underline{\hat{h}}_1^{(k-1)}, \dots, \underline{\hat{d}}_u^{(k)T} \cdot \underline{\hat{h}}_u^{(k-1)}, \dots, \underline{\hat{d}}_U^{(k)T} \cdot \underline{\hat{h}}_U^{(k-1)}$ de símbolos de datos recibidas que se obtienen de las ponderaciones de las secuencias $\underline{\hat{d}}_1^{(k)T} \cdot \underline{\hat{d}}_u^{(k-1)T}, \dots, \underline{\hat{d}}_U^{(k)T}$ de símbolos de datos enviadas hasta el instante k con las respuestas $\underline{\hat{h}}_1^{(k)}, \dots, \underline{\hat{h}}_u^{(k)}, \dots, \underline{\hat{h}}_U^{(k)}$ a impulso de canal estimadas en el instante k según la ecuación (34),

10 entonces puede representarse matemáticamente la fórmula de cálculo iterativo para la métrica $\tilde{M}^{(k)}$ de trayectoria para la estimación de máxima probabilidad de los símbolos $d_1^{(k)}, \dots, d_u^{(k)}, \dots, d_U^{(k)}$ de datos enviados en el instante k según la ecuación (33''').

$$e^{(k|k)} = r(k) - \underline{\hat{d}}^{(k)T} \cdot \underline{\hat{h}}^{(k)} \quad (34)$$

$$\tilde{M}^{(k)} = \tilde{M}^{(k-1)} - e^{(k|k)*} \cdot e^{(k|k-1)} + |r(k)|^2 \quad (33''''')$$

15 Dado que el término $|r(k)|^2$ en la fórmula de cálculo iterativo para la métrica $\tilde{M}^{(k)}$ de trayectoria en la ecuación (33''''') no es una magnitud de estimación y, por tanto, no es significativo para tomar una decisión en el diagrama de Trellis, puede despreciarse, de modo que, de la ecuación (33'''''), puede transformarse en la ecuación (35).

$$\tilde{M}^{(k)} = \tilde{M}^{(k-1)} - e^{(k|k)*} \cdot e^{(k|k-1)} \quad (35)$$

20 La matriz $D^{(k-1)}$ inversa de la matriz $D^{(k)}$ se denomina matriz $K^{(k)}$ de correlación de error de predicción. Al introducir la matriz $K^{(k)}$ de correlación de error de predicción puede transformarse la ecuación (25) en la ecuación (36) y la ecuación (26) en la ecuación (37).

$$K^k = K^{(k-1)} - g^k \cdot \underline{\hat{d}}^{(k)T} \cdot K^{(k-1)} \quad (36)$$

$$g^k = K^{(k-1)} \cdot \underline{\hat{d}}^{(k)*} \cdot (1 + \underline{\hat{d}}^{(k)T} \cdot K^{(k-1)} \cdot \underline{\hat{d}}^{(k)*})^{-1} \quad (37)$$

25 Debido a la variación en el tiempo del canal de transmisión, los símbolos de datos enviados con anterioridad tienen una importancia en el resultado de ecualización del símbolo $r(k)$ de datos recibido actualmente menor que los símbolos de datos enviados actualmente. Mediante la introducción de un factor μ de olvido con un intervalo de valores $0 < \mu \leq 1$ se tiene en cuenta esta circunstancia. Las fórmulas de iteración para las dos magnitudes auxiliares, el vector $\underline{v}^{(k)}$ y la matriz $D^{(k)}$, en las ecuaciones (2) y (23) pueden transformarse en las ecuaciones (38) y (39) correspondientes considerando el factor μ de olvido.

30
$$\underline{v}^{(k)} = \mu \underline{v}^{(k-1)} + \underline{\hat{d}}^{(k)*} \cdot r(k) \quad (38)$$

$$ID^k = \mu \cdot ID^{(k-1)} + \underline{\hat{d}}^{(k)*} \cdot \underline{\hat{d}}^{(k)T} \quad (39)$$

La ecuación (35) para el cálculo iterativo de la métrica $\tilde{M}^{(k)}$ de trayectoria se transforma, considerando el factor μ de olvido, en la ecuación (40).

$$\tilde{M}^{(k)} = \mu \cdot \tilde{M}^{(k-1)} - e^{(k|k)*} \cdot e^{(k|k-1)} \quad (40)$$

De forma análoga, la ecuación (36) transforma el cálculo de la matriz $K^{(k)}$ de correlación del error de predicción, considerando el factor μ de olvido, en la ecuación (41).

$$K^{(k)} = \frac{1}{\mu} \cdot \left[K^{(k-1)} - g^{(k)} \cdot \hat{d}^{(k)T} \cdot K^{(k-1)} \right] \quad (41)$$

5 Finalmente, también la ecuación (37) para el cálculo iterativo de la ganancia de Kalman $g^{(k)}$ se transforma, considerando el factor μ de olvido, en la ecuación (42).

$$g^{(k)} = K^{(k-1)} \cdot \hat{d}^{(k)T} \cdot (\mu + \hat{d}^{(k)T} \cdot K^{(k-1)} \cdot \hat{d}^{(k)*})^{-1} \quad (42)$$

10 Si la respuesta $\underline{h}_1^{(k)}, \dots, \underline{h}_u^{(k)}, \dots, \underline{h}_U^{(k)}$ a impulso de canal solo varía de forma reducida del instante k-1 precedente al instante k actual, entonces el error $e^{(k|k-1)}$ de estimación a priori y el error $e^{(k|k)}$ de estimación a posteriori son prácticamente idénticos. Por consiguiente, el término $e^{*(k|k)} \cdot e^{(k|k-1)}$ es un valor real positivo y la métrica $\tilde{M}^{(k)}$ de trayectoria en la ecuación (40) es, por consiguiente, un valor real negativo dado que la métrica $\tilde{M}^{(k)}$ de trayectoria máxima de todas las métricas $\tilde{M}^{(k)}$ de trayectoria de valores reales negativos corresponde a la métrica $\tilde{M}^{(k)}$ de trayectoria mínima de todas las métricas $\tilde{M}^{(k)}$ de trayectoria de valores reales positivos, suponiendo que el valor $|\tilde{M}^{(k)}|$ de las métricas $\tilde{M}^{(k)}$ de trayectoria positivas y negativas correspondientes entre sí sea de igual magnitud.

15 Por tanto, una maximización de la métrica $\tilde{M}^{(k)}$ de trayectoria según la ecuación (40) puede transformarse en una minimización de la métrica $\tilde{M}^{(k)}$ de trayectoria según la ecuación (43) utilizando una función de formación de valor, o según la ecuación (44) utilizando una función de formación de parte real.

$$\tilde{M}^{(k)} = |\mu \cdot \tilde{M}^{(k-1)} - e^{(k|k)*} \cdot e^{(k|k-1)}| \quad (43)$$

$$\tilde{M}^{(k)} = \text{Re} \left\{ \mu \cdot \tilde{M}^{(k-1)} - e^{(k|k)*} \cdot e^{(k|k-1)} \right\} \quad (44)$$

20 Una fórmula de cálculo equivalente a la ecuación (43) o (44) para una métrica $\tilde{M}^{(k)}$ de trayectoria a minimizar se obtiene mediante la formación de valor del término $e^{*(k|k)} \cdot e^{(k|k-1)}$ y la adición subsiguiente a la métrica $\tilde{M}^{(k-1)}$ de trayectoria calculada en el instante k-1 precedente según la ecuación (45) o mediante la formación de parte real del término $e^{*(k|k)} \cdot e^{(k|k-1)}$ y la adición subsiguiente a la métrica $\tilde{M}^{(k-1)}$ de trayectoria calculada en el instante k-1 precedente según la ecuación (46).

$$25 \quad \tilde{M}^{(k)} = \mu \cdot \tilde{M}^{(k-1)} + |e^{(k|k)*} \cdot e^{(k|k-1)}| \quad (45)$$

$$\tilde{M}^{(k)} = \mu \cdot \tilde{M}^{(k-1)} + \text{Re} \left\{ e^{(k|k)*} \cdot e^{(k|k-1)} \right\} \quad (46)$$

30 Para el cálculo de la métrica $\tilde{M}^{(k)}$ de trayectoria puede utilizarse, en lugar del producto del error $e^{(k|k-1)}$ de estimación a priori en el instante k-1 precedente y el error $e^{(k|k)}$ de estimación a posteriori en el instante k actual, de forma alternativa un producto de un error de estimación a priori o un error $e^{(k|k-n)}$ de estimación a posteriori en el instante n según la ecuación (47) y un error de estimación a priori o un error $e^{(k|k-m)}$ de estimación a posteriori en el instante m en las formas de realización de las ecuaciones (48), (49), (50) y (51), siendo los instantes n y m valores positivos enteros donde $0 \leq m, n, n, m \in \mathbb{N}_0$. Los instantes n y m han de elegirse en función de la variabilidad en el tiempo del canal de transmisión. En caso de una elevada variabilidad en el tiempo, son adecuados valores relativamente bajos para los instantes n y m.

$$e^{(k|k-n)} = r(k) - \hat{d}^{(k)T} \cdot \hat{h}^{(k-n)} \quad (47)$$

$$35 \quad \tilde{M}^{(k)} = |\mu \cdot \tilde{M}^{(k-1)} - e^{(k|k-n)*} \cdot e^{(k|k-m)}| \quad (48)$$

$$\tilde{M}^{(k)} = \text{Re} \left\{ \mu \cdot \tilde{M}^{(k-1)} - e^{(k|k-n)*} \cdot e^{(k|k-m)} \right\} \quad (49)$$

$$\tilde{M}^{(k)} = \mu \cdot \tilde{M}^{(k-1)} + |e^{(k|k-n)*} \cdot e^{(k|k-m)}| \quad (50)$$

$$\tilde{M}^{(k)} = \mu \cdot \tilde{M}^{(k-1)} + \text{Re}\{e^{(k|k-n)*} \cdot e^{(k|k-m)}\} \quad (51)$$

5 Los productos de los errores de estimación a priori y a posteriori en las ecuaciones (43) a (46) y (48) a (51) para el cálculo de la métrica $\tilde{M}^{(k)}$ de trayectoria representan las métricas de bifurcación entre los estados correspondientes en el instante $k - 1$ precedente y el instante k actual.

10 A partir de las fórmulas de cálculo del error de estimación a priori y a posteriori en las ecuaciones (31), (34) y (47) así como a partir de las fórmulas de cálculo iterativo para los valores $\hat{h}_1^{(k)}, \dots, \hat{h}_u^{(k)}, \dots, \hat{h}_U^{(k)}$ de estimación de las respuestas $\underline{h}_1^{(k)}, \dots, \underline{h}_u^{(k)}, \dots, \underline{h}_U^{(k)}$ a impulso de canal en la ecuación (32) puede observarse que para el cálculo de la métrica $\tilde{M}^{(k)}$ de trayectoria para los distintos estados $S_i, i = 1, \dots, N_s$ en el instante k son necesarios los valores $\hat{h}_1^{(k-1)}, \dots, \hat{h}_u^{(k-1)}, \dots, \hat{h}_U^{(k-1)}$ de estimación en el instante $k - 1$ precedente o los valores $\hat{h}_1^{(k-n)}, \dots, \hat{h}_u^{(k-n)}, \dots, \hat{h}_U^{(k-n)}$ de estimación en el instante $k - n$.

15 Mientras que en el caso de un algoritmo de Viterbi con una magnitud M del alfabeto de símbolos del procedimiento de modulación utilizado y en total N_s estados se analizan en total $M \cdot N_s$ nuevos estados potenciales en cada caso en el instante actual y, por cada nuevo estado potencial son necesarias en total U estimaciones de las respuestas $\hat{h}_1^{(k)}, \dots, \hat{h}_u^{(k)}, \dots, \hat{h}_U^{(k)}$ a impulso de canal en el instante actual y, con ello, se realizan en total $U \cdot M \cdot N_s$ estimaciones de canal, en el procedimiento según la invención para el análisis del total de $M \cdot N_s$ nuevos estados potenciales en el instante actual solo deben estimarse las U respuestas a impulso de canal relativas al total de N_s estados precedentes en el instante $k - 1$ precedente o en un instante $k - 2, k - 3$, etc. aún anterior.

20 Debido al plegamiento de la secuencia $\underline{d}^{(k)} = [\underline{d}_1^{(k)T}, \dots, \underline{d}_u^{(k)T}, \dots, \underline{d}_U^{(k)T}]^T$ de símbolos de datos con el vector $\underline{h}_1^{(k)}, \dots, \underline{h}_u^{(k)}, \dots, \underline{h}_U^{(k)}$ de las respuestas a impulso de canal de los canales de transmisión en el modelo de señales variable y no variable en el tiempo del canal de transmisión según la ecuación (1), la función de probabilidad logarítmica $\tilde{L}(\underline{D}^{(k)}, \underline{h}^{(k)}, \underline{r}^{(k)})$ según la ecuación (16) y la métrica $M^{(k)}$ de trayectoria según la ecuación (18) en instantes k futuros en los distintos términos $d_1(i) \cdot h_1(j), \dots, d_u(i) \cdot h_u(j), \dots, d_U(i) \cdot h_U(j)$ contienen también símbolos $d_1(i), \dots, d_u(i), \dots, d_U(i)$ de datos de instantes $i \leq k$ actuales o pasados, tal como puede observarse en la mitad derecha de la figura 2. Para que la energía de estas partes de señal no se pierda en el cálculo iterativo de la métrica $M^{(k)}$ de trayectoria y los valores $\hat{h}_1^{(k)}, \dots, \hat{h}_u^{(k)}, \dots, \hat{h}_U^{(k)}$ de estimación de las respuestas a impulso de canal y conduzca a una estimación insatisfactoria de las secuencias $\underline{d}_1^{(k)}, \dots, \underline{d}_u^{(k)}, \dots, \underline{d}_U^{(k)}$ de símbolos de datos enviadas hasta el instante k y las respuestas $\hat{h}_1^{(k)}, \dots, \hat{h}_u^{(k)}, \dots, \hat{h}_U^{(k)}$ a impulso de canal, se desarrolla a

25 continuación una métrica $\tilde{M}^{(k)}$ de trayectoria ampliada que considera las partes de señal que llegan en instantes $i > k$ futuros en los símbolos $\underline{r}^{(i)}$ de datos recibidos de estas secuencias $\underline{d}_1^{(k)}, \dots, \underline{d}_u^{(k)}, \dots, \underline{d}_U^{(k)}$ de símbolos de datos enviadas hasta el instante k .

35 Para ello se considera nuevamente el modelo de señal no variable en el tiempo del canal de transmisión según la ecuación (1). En caso de una longitud $L_{h1}, \dots, L_{hu}, \dots, L_{hU}$ de impulso de las respuestas a impulso de canal, en un total de $L_{h1}-1, \dots, L_{hu}-1, \dots, L_{hU}-1$ instantes futuros pueden estar contenidas partes de señal de secuencias $\underline{d}_1^{(k)}, \dots, \underline{d}_u^{(k)}, \dots, \underline{d}_U^{(k)}$ de símbolos de datos enviadas hasta el instante k en el símbolo $r(k)$ de datos recibido.

El vector $\underline{r}^{(k)}$ de los símbolos de datos recibidos obtenido de la ecuación (2) se amplía, según la ecuación (52), para dar lugar a un vector $\underline{r}^{(k+L_h-1)}$.

$$\underline{r}^{(k+L_h-1)} = \left[\underline{r}^{(k)T}, \underline{r}^{-(k)T} \right]^T \quad \text{donde} \quad \underline{r}^{-(k)T} = \left[r((k+1)), \dots, r(k+L_h-1) \right]^T \quad (52)$$

La matriz de Toeplitz $\underline{D}_u^{(k)}$ de los símbolos de datos enviados por el emisor de orden u obtenidos de la

ecuación (6) se amplía de forma correspondiente para dar lugar a una matriz de Toeplitz $\underline{D}_u^{(k+L_h-1)}$ según la ecuación (53):

$$\underline{D}_u^{(k+L_h-1)} = \begin{bmatrix} \underline{D}_u^{(k)} & & & \\ 0 & d_u(k) & \dots & d_u(k - (L_{hu} - 2)) \\ & 0 & \dots & d_u(k - (L_{hu} - 3)) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & d_u(k) \end{bmatrix} \quad (53)$$

5 Los símbolos de datos enviados en instantes futuros donde $L_h = \max(L_{h1} \dots L_{hu} \dots L_{hU})$ son desconocidos y, por tanto, representan variables aleatorias con una distribución de probabilidad discreta que, en cada caso, no están correlacionadas entre sí - $E\{d_u^*(i) \cdot d_u(j)\} = \delta(i-j) \cdot \delta(u-u')$ - y no tienen valor medio - $E\{d_u(i)\} = 0$ - y poseen en cada caso una potencia de señal media de uno. En consecuencia, en el modelo de señal de la ecuación (1) presentan la característica de señal de una señal $\underline{n}^{(k)}$ de ruido superpuesta al canal de transmisión y no, la secuencia $\underline{D}^{(k)}$ de símbolos de datos a enviar. Por consiguiente, los símbolos de datos enviados en instantes futuros se

10 determinan ajustando a cero los elementos correspondientes en la matriz de Toeplitz $\underline{D}_u^{(k)}$ y, tal como se mostrará más adelante, mediante ampliación por adición de la potencia de ruido de la señal de ruido en la matriz C_n de covarianza de la señal de ruido según la ecuación (12) con la potencia de señal de las partes de señal $d_1(i) \cdot h_1(j-i), \dots, d_u(i) \cdot h_u(j-i), \dots, d_U(i) \cdot h_U(j-i)$ de los símbolos $d_1(i), \dots, d_u(i), \dots, d_U(i)$ de datos enviados en el futuro, donde $k+1 \leq i \leq k+L_h-1$. Esto se obtiene a su vez de la multiplicación de la potencia de señal media de los símbolos $d_1(i), \dots, d_u(i), \dots, d_U(i)$ de datos enviados de uno por el valor al cuadrado del Taps correspondiente $|\hat{h}_1(j-i), \dots, \hat{h}_u(j-i), \dots, \hat{h}_U(j-i)|^2$ de los valores $\hat{h}_1^{(k)}, \dots, \hat{h}_u^{(k)}, \dots, \hat{h}_U^{(k)}$ de estimación de las

15 respuestas $\underline{h}_1^{(k)}, \dots, \underline{h}_u^{(k)}, \dots, \underline{h}_U^{(k)}$ a impulso de canal.

La matriz de Topelitz $\underline{D}_u^{(k+L_h-1)}$ según la ecuación (54) se compone de de las matrices de Toeplitz $\underline{D}_1^{(k+L_{h1}-1)}, \dots, \underline{D}_u^{(k+L_{hu}-1)}, \dots, \underline{D}_U^{(k+L_{hU}-1)}$ pertenecientes a los distintos emisores $1_1, \dots, 1_u, \dots, 1_U$ según la

20 ecuación (53).

$$\underline{D}^{(k+L_h-1)} = (\underline{D}_1^{(k+L_{h1}-1)} \dots \underline{D}_u^{(k+L_{hu}-1)} \dots \underline{D}_U^{(k+L_{hU}-1)}) \quad (54)$$

La función de probabilidad logarítmica $\tilde{L}(\underline{D}^{(k)}, \underline{h}^{(k)}, \underline{r}^{(k)})$ que se obtiene de la ecuación (15) se amplía de forma correspondiente para dar lugar a una función de probabilidad logarítmica ampliada $\overline{\tilde{L}}(\underline{D}^{(k+L_h-1)}, \hat{\underline{h}}^{(k)}, \underline{r}^{(k+L_h-1)})$ según la ecuación (55):

$$25 \quad \overline{\tilde{L}}(\underline{D}^{(k+L_h-1)}, \hat{\underline{h}}^{(k)}, \underline{r}^{(k+L_h-1)}) = (\underline{r}^{(k+L_h-1)} - \underline{D}^{(k+L_h-1)} \cdot \hat{\underline{h}}^{(k)})^H \cdot \overline{C_n}^{-1} \cdot (\underline{r}^{(k+L_h-1)} - \underline{D}^{(k+L_h-1)} \cdot \hat{\underline{h}}^{(k)}) \quad (55)$$

Adicionalmente, en la ecuación (55) se sustituye la respuesta $\underline{h}_1^{(k)}, \dots, \underline{h}_u^{(k)}, \dots, \underline{h}_U^{(k)}$ a impulso de canal del canal de transmisión en la ecuación (15) por su valor $\hat{\underline{h}}_1^{(k)}, \dots, \hat{\underline{h}}_u^{(k)}, \dots, \hat{\underline{h}}_U^{(k)}$ de estimación.

Al calcular la matriz $\overline{C_n}$ de covarianza debe tenerse en cuenta que esta no solo está compuesta por la

30 potencia δ_n^2 de ruido de la señal de ruido según la ecuación (12), sino también por la potencia de señal de la parte de señal $d_1(i) \cdot h_1(j-i), \dots, d_u(i) \cdot h_u(j-i), \dots, d_U(i) \cdot h_U(j-i)$ de los símbolos de datos $d_1(i), \dots, d_u(i), \dots, d_U(i)$ enviados en el futuro, donde $k+1 \leq i \leq k+L_h-1$ y $L_h = \max(L_{h1} \dots L_{hu} \dots L_{hU})$, que están contenidos en el símbolo $r(j)$ de datos recibido, donde $i \leq j \leq k+L_h-1$, símbolos de datos con el símbolo "?" en la figura 3, y, a pesar de ser desconocidos en el instante k, falsean la estimación de las secuencias $\underline{d}_1^{(k)}, \dots, \underline{d}_u^{(k)}, \dots, \underline{d}_U^{(k)}$ de símbolos de datos enviadas

hasta el instante k con ayuda de la métrica $\overline{M}^{(k)}$ de trayectoria ampliada. La potencia de señal de una parte de señal $d1(i) \cdot h1(j-i), \dots, du(i) \cdot hu(j-i), \dots, dU(i) \cdot hU(j-i)$ de este tipo se obtiene, bajo la condición de que la potencia de señal media de los símbolos de datos $d1(i), \dots, du(i), \dots, dU(i)$ enviados tienda a 1, a partir del valor al cuadrado del Taps correspondiente $|\hat{h}_1(j-i), \dots, \hat{h}_u(j-i), \dots, \hat{h}_U(j-i)|^2$ de los valores $\hat{h}_1^{(k)}, \dots, \hat{h}_u^{(k)}, \dots, \hat{h}_U^{(k)}$ de estimación de las respuestas $\underline{h}_1^{(k)}, \dots, \underline{h}_u^{(k)}, \dots, \underline{h}_U^{(k)}$ a impulso de canal. Por tanto, puede representarse la matriz \overline{C}_n de covariancia según la ecuación (56).

$$\overline{C}_n = \text{diag}(\sigma^2(i)) \text{ donde } \sigma^2(i) = \begin{cases} \sigma_n^2 + \sum_{u=1}^U \sum_{l=1}^{\min(l-(k+1), l_{nu}-1)} |\hat{h}_u(l)|^2 & L_t \leq i \leq k \\ \sigma_n^2 & k+1 < i \leq L_h - 1 \end{cases} \quad (56)$$

La minimización de la función de probabilidad logarítmica ampliada $\overline{L}(D^{(k+L_h-1)}, \hat{h}^{(k)}, \underline{r}^{(k+L_h-1)})$ según la ecuación (55) conduce a la métrica $\overline{M}^{(k)}$ de trayectoria ampliada según la ecuación (57):

$$\overline{M}^{(k)} = \frac{\tilde{M}^{(k)}}{\sigma^2} + \sum_{i=1}^{L_h-1} \left\{ \frac{|r(k+1) - \sum_{u=1}^U \sum_{n=0}^{L_{hu}-1-i} d_u(k-n) \cdot \hat{h}_u(i+n)|^2}{\sigma_n^2 + \sum_{u=1}^U \sum_{n=0}^{\min(L_{hu}, i-1)} |\hat{h}_u(n)|^2} \right\} \quad (57)$$

Por tanto, la métrica $\overline{M}^{(k)}$ ampliada se obtiene de la adición de la métrica $\tilde{M}^{(k)}$ iterativa calculada según una de las ecuaciones (43) a (46) o (48) a (51), ponderada con la potencia σ^2 de ruido inversa y un término $\delta(k)$ de ampliación que se corresponde con la expresión entre paréntesis de la ecuación (57) y considera las partes de señal contenidas en los símbolos de datos recibidos en el futuro a partir de las secuencias $\underline{d}_1^{(k)}, \dots, \underline{d}_u^{(k)}, \dots, \underline{d}_U^{(k)}$ de símbolos de datos enviadas hasta el instante k actual. Como puede observarse de la ecuación (57), el término $\delta(k)$ de ampliación de la métrica $\overline{M}^{(k)}$ ampliada del procedimiento según la invención no presenta el término contenido en el término $\delta(k)$ de ampliación de la métrica $\overline{M}^{(k)}$ ampliada de la solicitud de patente DE102006029464.5. Por consiguiente, el cálculo de la métrica $\overline{M}^{(k)}$ ampliada está asociado, en el procedimiento según la invención, con un menor esfuerzo de tratamiento de las señales.

La métrica $\overline{M}^{(k)}$ ampliada puede representarse de forma abreviada según la ecuación (58).

$$\overline{M}^{(k)} = \frac{\tilde{M}^{(k)}}{\sigma^2} + \delta(k) \quad (58)$$

Puede conseguirse una ponderación del término $\delta(k)$ de ampliación para obtener la métrica $\tilde{M}^{(k)}$ calculada de forma iterativa mediante la introducción de un factor w de ponderación que es positivo si la métrica $\tilde{M}^{(k)}$ es positiva y es negativo si la métrica $\tilde{M}^{(k)}$ es negativa de acuerdo con la ecuación (59).

$$\overline{M}^{(k)} = \frac{\tilde{M}^{(k)}}{\sigma^2} + w \cdot \delta(k) \quad (59)$$

En la figura 4 se muestra el sistema de transmisión para la aplicación del procedimiento según la invención para la detección de secuencias de símbolos de datos transmitidas por un canal de transmisión variable en el tiempo

con un reducido esfuerzo en el tratamiento de las señales. En varios emisores $1_1, \dots, 1_u, \dots, 1_U$ que presentan una función de ponderación de emisor $g_{T1}(t), \dots, g_{Tu}(t), \dots, g_{TU}(t)$ en cada caso se emite una secuencia de símbolos de datos en cada caso.

5 La secuencia de símbolos de datos ponderada en cada caso con la función de ponderación de emisor correspondiente se alimenta a través de un canal $2_1, \dots, 2_u, \dots, 2_U$ de transmisión correspondiente con la correspondiente función de ponderación variable en el tiempo $g_{CH1}(\tau, t), \dots, g_{CHu}(\tau, t), \dots, g_{CHU}(\tau, t)$ a un receptor 3 que está realizado como filtro adaptado (matched filter) con la función de ponderación $g_R(t)$, a una unidad 4 de exploración y a un estimador 5 de datos de canal mixto. El procedimiento según la invención implementado en el estimador 5 iterativo según la invención para la detección de secuencias de símbolos de datos recibidas a través de un canal de transmisión variable en el tiempo con un reducido esfuerzo de tratamiento de las señales se desprende del diagrama de flujo de la figura 5.

15 En el primer paso S10 del procedimiento se determinan las respuestas $\underline{h}_1^{(k)}, \dots, \underline{h}_u^{(k)}, \dots, \underline{h}_U^{(k)}$ a impulso de canal de los canales de transmisión en una estimación de canal inicial. Para ello, los canales de transmisión se solicitan de forma individual en sí mismos o conjuntamente en el marco de una estimación de canal conjunta preferiblemente con una secuencia conocida de símbolos de datos de entrenamiento de longitud L_t y, a partir del símbolo $r(k)$ de datos recibido, aplicando un algoritmo adaptivo de estimación de canal, se calcula en cada caso un valor $\hat{h}_1^{(0)}, \dots, \hat{h}_u^{(0)}, \dots, \hat{h}_U^{(0)}$ de estimación de canal inicial de las respuestas $\hat{h}_1^{(0)}, \dots, \hat{h}_u^{(0)}, \dots, \hat{h}_U^{(0)}$ a impulso de canal en el instante 0 o valores $\hat{h}_1^{(-1)}, \dots, \hat{h}_u^{(-1)}, \dots, \hat{h}_U^{(-1)}, \hat{h}_1^{(-2)}, \dots, \hat{h}_u^{(-2)}, \dots, \hat{h}_U^{(-2)}$ de estimación de canal inicial aún anteriores de los canales de transmisión. En este caso, pueden utilizarse algoritmos de estimación sin considerar una estadística de canal condicionada por el ruido tales como, por ejemplo, algoritmos de mínimo cuadrático, algoritmos de estimación que consideran una estadística de canal desconocida condicionada por el ruido tales como, por ejemplo, el procedimiento de máxima probabilidad, o algoritmos de estimación que consideran estadística de canal desconocida condicionada por el ruido tales como, por ejemplo, el algoritmo MMSE. También es adecuada para la estimación de canal inicial una estimación de canal inicial ciega o semi-ciega sin uso de una secuencia de símbolos de datos de entrenamiento que estima los canales únicamente a partir de la secuencia de símbolos de datos útiles recibida.

25 En el siguiente paso S20 del procedimiento se inicializan las variables escalares y vectoriales así como las variables de matrices utilizadas en el procedimiento según la invención:

30 Dado que, en función del instante k y de la longitud $L_{h1}, \dots, L_{hu}, \dots, L_{hU}$ de impulso de las respuestas $\hat{h}_1^{(k)}, \dots, \hat{h}_u^{(k)}, \dots, \hat{h}_U^{(k)}$ a impulso de canal, pueden presentarse determinados símbolos $\hat{d}_1(i), \dots, \hat{d}_u(i), \dots, \hat{d}_U(i)$ de datos de las secuencias $\hat{d}_1^{(k)}, \dots, \hat{d}_u^{(k)}, \dots, \hat{d}_U^{(k)}$ de símbolos de datos estimadas en instante i negativos, estas deben dotarse previamente con el valor 0 de forma más sensata.

Los elementos de la matriz $K(k)$ de correlación de error de predicción que representa la matriz de autocorrelación inversa de los símbolos $\hat{d}_1^{(k)}, \dots, \hat{d}_u^{(k)}, \dots, \hat{d}_U^{(k)}$ de datos estimados pueden dotarse de valores

35 constantes, por ejemplo, del valor γ de estimación poco aproximada para la separación $\frac{E_b}{N_c}$ ruido – señal en el canal de transmisión correspondiente, ponderado con la longitud $L_{h1-1}, \dots, L_{hu-1}, \dots, L_{hU-1}$ de impulso inversa de la correspondiente respuesta $\underline{h}_1^{(k)}, \dots, \underline{h}_u^{(k)}, \dots, \underline{h}_U^{(k)}$ a impulso de canal, o calcularse a partir de los coeficientes de autocorrelación calculados en la estimación de canal inicial de la secuencia de símbolos de datos de entrenamiento o la secuencia de símbolos de datos útiles utilizada en el caso de una estimación de canal inicial ciega.

40 A continuación, comienza el bucle de iteración del procedimiento según la invención con el paso S30 del procedimiento. En el paso S30 del procedimiento se calcula el error $e^{(k|k-1)}$ de estimación a priori utilizando una respuesta $\hat{h}_1^{(k-1)}, \dots, \hat{h}_u^{(k-1)}, \dots, \hat{h}_U^{(k-1)}$ a impulso de canal estimada en el instante $k-1$ según la ecuación (31) y el error $e^{(k|k)}$ de estimación a posteriori utilizando una respuesta $\hat{h}_1^{(k)}, \dots, \hat{h}_u^{(k)}, \dots, \hat{h}_U^{(k)}$ a impulso de canal estimada en el instante k según la ecuación (31). De forma alternativa, cada uno de los otros errores $e^{(k|k-n)}$ de estimación a priori puede calcularse también utilizando una respuesta $\hat{h}_1^{(k-n)}, \dots, \hat{h}_u^{(k-n)}, \dots, \hat{h}_U^{(k-n)}$ a impulso de canal estimada en un instante $k - n$ anterior según la ecuación (47).

En el caso de que se realice por primera vez el paso S30 del procedimiento, se utiliza para ello el símbolo $r(0)$ de datos recibido en el instante 0, el vector dotado previamente en el paso S20 del procedimiento de la secuencia $\tilde{d}^{(0)}$ de símbolos de datos estimada y los valores $\hat{h}_1^{(0)}, \dots, \hat{h}_u^{(0)}, \dots, \hat{h}_U^{(0)}, \hat{h}_1^{(-1)}, \dots, \hat{h}_u^{(-1)}, \dots, \hat{h}_U^{(-1)}, \hat{h}_1^{(-2)}, \dots, \hat{h}_u^{(-2)}, \dots, \hat{h}_U^{(-2)}$, etc. de estimación calculados en la estimación de canal inicial según el paso S10 del procedimiento de las respuestas a impulso de canal en los instantes 0, -1, -2, etc.

5

En caso de una iteración ya realizada varias veces se utilizan para ello el símbolo $r(k)$ de datos recibido en el instante k , los símbolos $\hat{d}_1(k-1), \dots, \hat{d}_u(k-1), \dots, \hat{d}_U(k-1), \hat{d}_1(k-2), \dots, \hat{d}_u(k-2), \dots, \hat{d}_U(k-2), \hat{d}_1(k-3), \dots, \hat{d}_u(k-3), \dots, \hat{d}_U(k-3)$, etc. de datos estimados en cada caso en los distintos instantes $k-1, k-2, k-3$, etc. de la secuencia $\hat{d}_1^{(k)}, \dots, \hat{d}_u^{(k)}, \dots, \hat{d}_U^{(k)}$ de símbolos de datos enviada hasta el instante $k-1$ para el instante k de cada símbolo $d(k)$ de datos contenido en cada caso en el alfabeto de símbolos de datos del procedimiento de modulación utilizado y los valores $\hat{h}_1^{(k-1)}, \dots, \hat{h}_u^{(k-1)}, \dots, \hat{h}_U^{(k-1)}, \hat{h}_1^{(k-2)}, \dots, \hat{h}_u^{(k-2)}, \dots, \hat{h}_U^{(k-2)}, \hat{h}_1^{(k-3)}, \dots, \hat{h}_u^{(k-3)}, \dots, \hat{h}_U^{(k-3)}$, etc. de estimación determinados en el paso S70 del procedimiento en el instante $k-1$ o en los instantes $k-2, k-3$, etc. anteriores de las respuestas $\hat{h}_1^{(k)}, \dots, \hat{h}_u^{(k)}, \dots, \hat{h}_U^{(k)}$ a impulso de canal.

10

15

En el paso S40 subsiguiente del procedimiento se calcula la métrica \tilde{M}^0 en el instante 0, en el caso de realizar por primera vez la iteración, y la métrica $\tilde{M}^{(k)}$ en el instante k , en el caso de haber realizado ya varias veces la iteración, a partir de la métrica \tilde{M}^{-1} inicializada, en el caso de realizar por primera vez la iteración, y a partir de la métrica $\tilde{M}^{(k-1)}$ determinada de forma iterativa en el instante $k-1$ anterior más la métrica de bifurcación determinada en cada caso para cada símbolo $d(k)$ de datos posible del alfabeto de símbolos de datos en el instante k , que puede determinarse a partir del producto $e^{(k|k)}$, $e^{(k|k)}$ del error $e^{(k|k-1)}$ de estimación a priori y el error $e^{(k|k)}$ de estimación a posteriori calculados en el paso 30 del procedimiento.

20

25

En este caso, pueden utilizarse la fórmula de cálculo iterativo para la métrica \tilde{M}^k de trayectoria de la ecuación (35), la fórmula de cálculo iterativo para la métrica \tilde{M}^k de trayectoria de la ecuación (40) utilizando el factor μ de olvido para métricas de bifurcación que se remontan más en el tiempo, la fórmula de cálculo iterativo para la métrica \tilde{M}^k de trayectoria de la ecuación (43) con la subsiguiente formación del valor de la métrica \tilde{M}^k de trayectoria calculada, la fórmula de cálculo iterativo para la métrica \tilde{M}^k de trayectoria según la ecuación (44) con la subsiguiente formación de la parte real de la métrica \tilde{M}^k de trayectoria calculada, la fórmula de cálculo para la métrica \tilde{M}^k de trayectoria según la ecuación (45) con una formación de valor de la métrica de bifurcación calculada en el paso de iteración correspondiente para cada símbolo $d(k)$ de datos del alfabeto de símbolos de datos y la fórmula de cálculo iterativo para la métrica \tilde{M}^k de trayectoria según la ecuación (46) con una formación de parte real de la métrica de bifurcación calculada en el paso de iteración correspondiente para cada símbolo $d(k)$ de datos del alfabeto de símbolos de datos.

30

35

De forma alternativa, la métrica $d(k)$ de trayectoria puede calcularse en cada caso según una de las fórmulas de cálculo iterativo según las ecuaciones (48) a (51), en las que las correspondientes métricas de bifurcación se calculan a partir de errores $e(k|k-n)$ y $e(k|k-m)$ de estimación a priori en instantes $k-n$ y $k-m$ anteriores.

40

En el siguiente paso S50 del procedimiento se calcula, según las ecuaciones (57) y (58), el término $\delta(k)$ de ampliación y, basándose en este, la métrica $\overline{\overline{M}}^{(k)}$ ampliada. Utilizando un factor w de ponderación según la ecuación (59) puede realizarse una ponderación diferente entre la métrica \tilde{M}^k determinada de forma iterativa y el término $\delta(k)$ de ampliación al calcular la métrica $\overline{\overline{M}}^{(k)}$ ampliada.

En el siguiente paso S60 del procedimiento, a partir la métrica $\overline{\overline{M}}^{(k)}$ ampliada calculada en cada caso en el instante k para cada símbolo $d(k)$ de datos del alfabeto de símbolos de datos utilizado en el procedimiento de

modulación empleado se determina, mediante un procedimiento Depth-first o un procedimiento Breadth-first, la métrica $\overline{M}^{(k)}$ ampliada mínima en cada caso y, con ello, se estima el símbolo $\hat{d}_1^{(k)}, \dots, \hat{d}_u^{(k)}, \dots, \hat{d}_U^{(k)}$ de datos en el instante k en las distintas "trayectorias de supervivencia".

5 En caso de utilizar un procedimiento Breadth-first, partiendo del estado S_i seleccionado en el instante k-1 anterior para la "trayectoria de supervivencia" correspondiente puede seleccionarse, basándose en el algoritmo de Viterbi, el estado S_i siguiente en el instante k y, con ello, el símbolo $\hat{d}_1^{(k)}, \dots, \hat{d}_u^{(k)}, \dots, \hat{d}_U^{(k)}$ de datos estimado característico de este estado S_i en el instante k, que presenta la menor métrica de bifurcación. De esta manera, de cada estado S_i individual seleccionado en el instante k - 1 se selecciona nuevamente en cada caso un único estado S_i en el instante k y se continua en la "trayectoria de supervivencia" correspondiente en el instante k. No obstante, de forma alternativa, como se muestra en la figura 1, también pueden seleccionarse estados S_i que presenten en cada caso las menores métricas de trayectoria. De esta manera, de un estado S_i seleccionado en el instante k - 1 pueden seleccionarse varios estados S_i , un único estado S_i o ningún estado S_i en el instante k. En ambos procedimientos puede reducirse el número de estados S_i seleccionados en el instante k frente a los estados S_i seleccionados en el instante k-1 si varias "trayectorias de supervivencia" que se encuentran en el instante k-1 en un estado S_i diferente en cada caso se unifican en un único estado S_i en el instante k.

10 En el caso de un procedimiento Depth-first, primero se analiza el diagrama de Trellis "en profundidad" siguiéndose de forma iterativa una "trayectoria de supervivencia" por el número necesario de instantes k hasta que la métrica $\overline{M}^{(k)}$ de trayectoria correspondiente supere un valor umbral predeterminado. Una vez que la métrica $\overline{M}^{(k)}$ de trayectoria correspondiente supere un valor umbral predeterminado, se retrocede en la "trayectoria de supervivencia" un número de instantes k hasta que se encuentre una trayectoria de bifurcación cuya métrica de bifurcación conduzca a una métrica $\overline{M}^{(k)}$ de trayectoria que se encuentre por debajo del valor umbral predeterminado. A su vez, esta trayectoria de bifurcación se sigue hasta que la métrica $\overline{M}^{(k)}$ de trayectoria correspondiente supere nuevamente el valor umbral predeterminado y, retrocediendo en la "trayectoria de supervivencia" seleccionada, se encuentre nuevamente otra trayectoria de bifurcación que conduzca a una métrica $\overline{M}^{(k)}$ de trayectoria menor que el valor umbral predeterminado. Esta forma de proceder se continua hasta que el diagrama de Trellis haya transcurrido hasta un instante k predeterminado con una "trayectoria de supervivencia" hallada.

20 En el caso de que al menos una señal presente una potencia de señal claramente superior a la señal restante o las señales restantes, se determina, sobre la base de las relaciones previamente calculadas de las potencias de señal de la señal de mayor potencia o las señales de mayor potencia respecto a las potencias de señal de la señal de menor potencia o las señales de menor potencia, el número M' de hipótesis de símbolos de datos, reducido respecto a la magnitud M del alfabeto de símbolos, que se considera durante la estimación de un símbolo de datos dentro de las secuencias de símbolos de datos de señales de menor potencia. La determinación de la relación de las potencias de señal de la señal de mayor potencia o las señales de mayor potencia respecto a las potencias de señal de la señal de menor potencia o las señales de menor potencia, la denominada relación portadora a interferencia (Carrier-to-Interferer-Ratio (CIR)), se determina mediante la medición de la potencia de señal de la respuesta a impulso de canal del canal de transmisión que transmite la correspondiente señal de elevada o reducida potencia. El número M' reducido de hipótesis de símbolos de datos que han de considerarse en caso de señales de menor potencia ha de fijarse de forma indirectamente proporcional al valor calculado de la relación portadora a interferencia. En el diagrama de Trellis, durante la equalización de la señal en el correspondiente instante k, solo se seleccionan los estados S_i que pertenecen a un número (M') de hipótesis de símbolos de datos con las mínimas distancias euclidianas en cada caso respecto al símbolo $\underline{d}_1(k), \dots, \underline{d}_u(k), \dots, \underline{d}_U(k)$ de datos recibido para cada señal de menor potencia. A partir del diagrama de Trellis de la figura 2 con una señal \underline{d}_1 de elevada potencia y las dos señales $\underline{d}_2, \underline{d}_3$ de menor potencia, moduladas todas en un procedimiento de modulación con la magnitud $M = 4$, por ejemplo, un procedimiento QPSK (Quadrature Phase Shift Keying, modulación por desplazamiento de fase en cuadratura), puede observarse que en cada instante se seleccionan en cada caso las hipótesis de símbolos de datos de la señal \underline{d}_1 de elevada potencia con la mínima métrica (en $k = L_t$: hipótesis de símbolo de datos $d_1 = 01$; en $k = L_t+1$: hipótesis de símbolo de datos $d_1 = 00$) y las hipótesis de símbolos de datos $M' = 2$ con la mínima métrica para cada señal \underline{d}_2 y \underline{d}_3 de menor potencia en cada caso (en $k = L_t$: hipótesis de símbolos de datos $d_2 = 00$ y $d_2 = 01$ o $d_3 = 00$ y $d_3 = 11$; en $k = L_t+1$: hipótesis de símbolos de datos $d_2 = 01$ y $d_2 = 11$ o $d_3 = 00$ y $d_3 = 01$).

50 En el siguiente paso S70 del procedimiento se calcula la ganancia de Kalman $g^{(k)}$ según la ecuación (37) o según

la ecuación (42) utilizando el factor μ de olvido para la ponderación más reducida de símbolos ($d_1(k), \dots, d_u(k), \dots, d_U(k)$) de datos enviados anteriormente respecto a símbolos ($d_1(k), \dots, d_u(k), \dots, d_U(k)$) de datos enviados actualmente. Para ello se utilizan las estimaciones $\hat{d}_1(k), \dots, \hat{d}_u(k), \dots, \hat{d}_U(k)$ determinadas para la "trayectoria de supervivencia" correspondiente de las secuencias $\underline{d}_1^{(k)}, \dots, \underline{d}_u^{(k)}, \dots, \underline{d}_U^{(k)}$ de símbolos de datos enviadas hasta el instante k con los

5 símbolos $\underline{d}_1^{(k)}, \dots, \underline{d}_u^{(k)}, \dots, \underline{d}_U^{(k)}$ de datos estimados en el paso S60 anterior del procedimiento para la "trayectoria de supervivencia" correspondiente en el instante k y la matriz $K^{(k-1)}$ de correlación de error de predicción en el instante $k - 1$ precedente. Esta matriz $K^{(k-1)}$ de correlación de error de predicción presenta, en el primer ciclo de la iteración, los valores inicializados en el paso S20 del procedimiento y, en caso de varios ciclos ya realizados de la iteración, los valores de la matriz $K^{(k-1)}$ de correlación en el instante $k-1$ determinados en la última iteración en el paso S70 del procedimiento.

10 Con la ganancia de Kalman $g^{(k)}$ determinada de esta manera en el instante k y la matriz $K^{(k-1)}$ de correlación de error de predicción en el instante $k-1$ también se calcula de forma iterativa en el paso S70 del procedimiento la matriz $K^{(k)}$ de correlación de error de predicción en el instante k .

15 Finalmente, en el paso S70 del procedimiento, con la ganancia $g^{(k)}$ determinada en este momento y el error $e^{(k|k-1)}$ de estimación a priori calculado en el paso S30 del procedimiento, se calcula de forma iterativa, basándose en los valores $\hat{h}_1^{(k-1)}, \dots, \hat{h}_u^{(k-1)}, \dots, \hat{h}_U^{(k-1)}$ de estimación de las respuestas $h^{(k)}$ a impulso de canal en el instante $k-1$, el valor $\underline{h}^{(k)}$ de estimación de las respuestas $\underline{h}_1^{(k)}, \dots, \underline{h}_u^{(k)}, \dots, \underline{h}_U^{(k)}$ a impulso de canal en el instante k . Los valores $\underline{h}^{(k-1)}$ de estimación de las respuestas $\underline{h}_1^{(k-1)}, \dots, \underline{h}_u^{(k-1)}, \dots, \underline{h}_U^{(k-1)}$ a impulso de canal en el instante $k-1$ se obtienen, en el caso de realización por primera vez de la iteración, a partir de los valores $\hat{h}_1^{(-1)}, \dots, \hat{h}_u^{(-1)}, \dots, \hat{h}_U^{(-1)}$ de estimación, determinados en la estimación de canal inicial en el paso S10 del

20 procedimiento, de las respuestas $\hat{h}_1^{(k)}, \dots, \hat{h}_u^{(k)}, \dots, \hat{h}_U^{(k)}$ a impulso de canal en el instante -1 y, en caso de haber realizado la iteración ya varias veces, a partir de los valores $\hat{h}_1^{(k-1)}, \dots, \hat{h}_u^{(k-1)}, \dots, \hat{h}_U^{(k-1)}$ de estimación, determinados de forma iterativa en la última iteración en el paso S70 del procedimiento, de las respuestas $\underline{h}_1^{(k-1)}, \dots, \underline{h}_u^{(k-1)}, \dots, \underline{h}_U^{(k-1)}$ en el instante $k-1$.

25 En el paso S80 del procedimiento se determina si las estimaciones de las secuencias $\underline{d}_1^{(k)}, \dots, \underline{d}_u^{(k)}, \dots, \underline{d}_U^{(k)}$ de símbolos de datos están concluidas. Este es el caso cuando, tras un número determinado de iteraciones, todas las "trayectorias de supervivencia" existentes se han unificado de forma definitiva en un estado S_i del diagrama de Trellis en un instante k determinado para dar lugar a una única "trayectoria de supervivencia" y el procedimiento según la invención está concluido.

30 En caso de que este resultado aún no se haya producido, en los pasos S90 del procedimiento se espera al siguiente instante $k + 1$ y se inicia la siguiente iteración con el paso S30 del procedimiento.

35 En la curva 1 de la figura 6 se muestra la tasa de errores de bit (BER, bit error rate) como función de la potencia media del primer y el segundo emisor ($U=2$) de un procedimiento JDDFSE (Joint-Delayed-Decision-Feedback-Sequence-Estimation) con filtros previos que operan a modo de símbolos, que representa, según el estado de la técnica, un procedimiento para la estimación simultánea de varios canales de transmisión variables en el tiempo y las secuencias $\underline{d}_1^{(k)}, \dots, \underline{d}_u^{(k)}, \dots, \underline{d}_U^{(k)}$ de símbolos de datos enviadas por uno de los canales de transmisión en cada caso, y en la curva 2 de la figura 6 se muestra la tasa de errores de bit (BER) como función de la potencia media del primer y el segundo emisor de un procedimiento según la invención para la detección de varias secuencias de símbolos de datos enviadas y transmitidas por un canal de transmisión variable en el tiempo en cada caso procedentes de una señal de recepción sin filtros previos.

40 En ambos casos se presenta una señal de transmisión no codificada y modulada según 8-PSK (modulación por desplazamiento de fase de 8 símbolos) según el estándar GSM/EDGE que es emitida por dos emisores ($U=2$), una

separación $\frac{E_b}{N_0}$ ruido a señal de 30 dB, un entorno TU urbano (típico urbano) y una velocidad del receptor de 0 km/h. En el caso del procedimiento JDDFSE están previstos 64 estados, en el caso del procedimiento según la invención, 24 estados.

45 Puede observarse claramente la menor tasa de errores de bit del procedimiento según la invención frente al procedimiento según el estado de la técnica (JDDFSE), en especial, con menores potencias de señal de los dos emisores

1 y 2.

La invención no se limita a las formas de realización mostradas. En especial, la invención también cubre de forma alternativa el algoritmo RLS como procedimiento de estimación de canal adaptivo, otros procedimientos de estimación de canal recursivos tales como algoritmos de Kalman o algoritmos de proyección afines tales como, por ejemplo, el algoritmo NLMS (Normalizad-Least-Mean-Square, mínimo cuadrático medio normalizado).

5

REIVINDICACIONES

1.- Procedimiento para detectar al menos una secuencia $(\underline{d}_1^{(k)}, \dots, \underline{d}_u^{(k)}, \dots, \underline{d}_U^{(k)})$ de símbolos de datos enviada perteneciente en cada caso a una señal transmitida a través de un canal de transmisión variable en el tiempo en cada caso a partir de una secuencia $(\underline{r}^{(k)})$ de símbolos de datos recibida perteneciente a una única señal recibida, en el que la respuesta $(\underline{h}_1^{(k)}, \dots, \underline{h}_u^{(k)}, \dots, \underline{h}_U^{(k)})$ a impulso del correspondiente canal de transmisión y el correspondiente símbolo $(d_1(k), \dots, d_2(k), \dots, d_U(k))$ de datos transmitido actualmente se estiman de forma alternante para cada instante (k) , seleccionándose para la estimación del símbolo $(d_1(k), \dots, d_2(k), \dots, d_U(k))$ de datos enviado en cada caso en el instante (k) los estados (S_i) del diagrama de estados en los que las métricas $(\underline{M}^{(k)})$ ampliadas, calculadas de forma iterativa y compuestas en cada caso por una métrica $(\tilde{M}^{(k)})$ de trayectoria y un término $(\delta(k))$ de ampliación, son mínimas, caracterizado porque el numerador del término $(\delta(k))$ de ampliación se obtiene únicamente de la diferencia entre los símbolos $(r(k+1), r(k+2), r(k+3), \dots)$ de datos recibidos en instantes $(k+1, k+2, k+3)$ futuros y las estimaciones $(\hat{\underline{d}}_1^{(k)}, \dots, \hat{\underline{d}}_u^{(k)}, \dots, \hat{\underline{d}}_U^{(k)})$ de la secuencia $(\underline{d}_1^{(k)}, \dots, \underline{d}_u^{(k)}, \dots, \underline{d}_U^{(k)})$ de símbolos de datos enviada en cada caso hasta el instante (k) actual ponderadas con la respuesta $(\hat{\underline{h}}_1^{(k)}, \dots, \hat{\underline{h}}_u^{(k)}, \dots, \hat{\underline{h}}_U^{(k)})$ a impulso del correspondiente canal de transmisión estimada en el instante (k) actual.

2.- Procedimiento para la detección según la reivindicación 1, caracterizado porque la métrica $(\tilde{M}^{(k)})$ de un estado (S_i) en el instante (k) actual se calcula de forma iterativa a partir de la métrica $(\tilde{M}^{(k-1)})$ de trayectoria ampliada del estado (S_i) precedente en cada caso más una métrica de bifurcación entre el estado (S_i) precedente en cada caso en el instante $(k-1)$ precedente y el estado (S_i) en el instante (k) actual.

3.- Procedimiento para la detección según la reivindicación 2, caracterizado porque la métrica de bifurcación entre el estado (S_i) precedente en cada caso en el instante $(k-1)$ precedente y el estado (S_i) en el instante (k) actual tiene en consideración una función de un producto $(e^{(k/k-n)} \cdot e^{(k/k-m)}, e^{(k/k-n)} \cdot e^{(k/k)})$ de un primer error $(e^{(k/k-n)})$ de estimación a priori y un segundo error $(e^{(k/k-m)})$ de estimación a priori o un segundo error $(e^{(k/k)})$ de estimación a posteriori, y el primer error $(e^{(k/k-n)})$ de estimación a priori, el segundo error $(e^{(k/k-m)})$ de estimación a priori y el error $(e^{(k/k)})$ de estimación a posteriori se calculan en cada caso entre la secuencia $(\underline{r}^{(k)})$ de símbolo de datos recibida hasta el instante (k) actual y la estimación $(\hat{\underline{d}}_1^{(k)T} \cdot \hat{\underline{h}}_1^{(k)} + \dots + \hat{\underline{d}}_u^{(k)T} \cdot \hat{\underline{h}}_u^{(k)} + \dots + \hat{\underline{d}}_U^{(k)T} \cdot \hat{\underline{h}}_U^{(k)})$ de la secuencia $(\underline{r}^{(k)})$ de símbolos de datos recibida hasta el instante (k) actual.

4.- Procedimiento para la detección según la reivindicación 3, caracterizado porque la función es una función de formación de valor.

5.- Procedimiento para la detección según la reivindicación 3, caracterizado porque la función es una función que forma una parte real.

6.- Procedimiento para la detección según una cualquiera de las reivindicaciones 3 a 5, caracterizado porque la estimación

$$\left(\hat{\underline{d}}_1^{(k)T} \cdot \hat{\underline{h}}_1^{(k-n)} + \dots + \hat{\underline{d}}_u^{(k)T} \cdot \hat{\underline{h}}_u^{(k-n)} + \dots + \hat{\underline{d}}_U^{(k)T} \cdot \hat{\underline{h}}_U^{(k-n)} \right),$$

$$\hat{\underline{d}}_1^{(k)T} \cdot \hat{\underline{h}}_1^{(k-1)} + \dots + \hat{\underline{d}}_u^{(k)T} \cdot \hat{\underline{h}}_u^{(k-1)} + \dots + \hat{\underline{d}}_U^{(k)T} \cdot \hat{\underline{h}}_U^{(k-1)} ;$$

$$\hat{\underline{d}}_1^{(k)T} \cdot \hat{\underline{h}}_1^{(k-m)} + \dots + \hat{\underline{d}}_u^{(k)T} \cdot \hat{\underline{h}}_u^{(k-m)} + \dots + \hat{\underline{d}}_U^{(k)T} \cdot \hat{\underline{h}}_U^{(k-m)} ;$$

$$\left(\hat{\underline{d}}_1^{(k)T} \cdot \hat{\underline{h}}_1^{(k)} + \dots + \hat{\underline{d}}_u^{(k)T} \cdot \hat{\underline{h}}_u^{(k)} + \dots + \hat{\underline{d}}_U^{(k)T} \cdot \hat{\underline{h}}_U^{(k)} \right)$$

de la secuencia $\left(\underline{r}^{(k)} \right)$ de símbolos de datos recibida hasta el instante (k) actual del primer error $(e^{(k/k-n)}, e^{(k/k-1)})$ de estimación a priori, del segundo error $(e^{(k/k-m)})$ de estimación a priori y del error $(e^{(k/k)})$ de estimación a posteriori se calcula a partir de la estimación $\left(\hat{\underline{d}}_1^{(k)}, \dots, \hat{\underline{d}}_u^{(k)}, \dots, \hat{\underline{d}}_U^{(k)} \right)$ de la secuencia $\left(\underline{d}_1^{(k)}, \dots, \underline{d}_u^{(k)}, \dots, \underline{d}_U^{(k)} \right)$ de símbolos de datos

5 enviada hasta el instante (k) actual ponderada con una respuesta $\left(\hat{\underline{h}}_1^{(k-n)}, \dots, \hat{\underline{h}}_u^{(k-n)}, \dots, \hat{\underline{h}}_U^{(k-n)} ; \hat{\underline{h}}_1^{(k-1)}, \dots, \hat{\underline{h}}_u^{(k-1)}, \dots, \hat{\underline{h}}_U^{(k-1)} ; \hat{\underline{h}}_1^{(k-m)}, \dots, \hat{\underline{h}}_u^{(k-m)}, \dots, \hat{\underline{h}}_U^{(k-m)} ; \hat{\underline{h}}_1^{(k)}, \dots, \hat{\underline{h}}_u^{(k)}, \dots, \hat{\underline{h}}_U^{(k)} \right)$ a impulso del correspondiente canal de transmisión estimada en un primer o un segundo instante $(k-n; k-1; k-m; k)$.

10 7.- Procedimiento para la detección según la reivindicación 6, caracterizado porque el primer instante $(k-n, k-1)$ del primer error $(e^{(k/k-n)}, e^{(k/k-1)})$ de estimación a priori es un instante $(k-n)$ que precede al instante (k) actual en n instantes, y el segundo instante $(k-m)$ del segundo error $(e^{(k/k-m)})$ de estimación a priori es un instante $(k-m)$ que precede al instante (k) actual en m instantes.

15 8.- Procedimiento para la detección según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado porque en el caso de la métrica $\left(\tilde{M}^{(k)} \right)$ calculada de forma iterativa, los símbolos $\left(d_1^{(k)}, \dots, d_2^{(k)}, \dots, d_U^{(k)} \right)$ de datos enviados anteriormente se ponderan con menor valor que los símbolos $\left(d_1^{(k)}, \dots, d_2^{(k)}, \dots, d_U^{(k)} \right)$ de datos enviados posteriormente.

20 9.- Procedimiento para la detección según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizado porque para la estimación de la secuencia $\left(\underline{d}_1^{(k)}, \dots, \underline{d}_u^{(k)}, \dots, \underline{d}_U^{(k)} \right)$ de símbolos de datos enviada en cada caso hasta el instante (k) actual se selecciona una trayectoria de forma sucesiva a partir de estados (S_i) sucesivos mientras la métrica $\left(\overline{M}^{(k)} \right)$ de trayectoria ampliada del último estado (S_i) seleccionado sea menor que un valor umbral y, en caso contrario, la trayectoria se continua de forma iterativa en uno de los estados (S_i) seleccionados previamente con un estado (S_i) alternativo o, respectivamente, sus estados (S_i) subsiguientes si sus métricas $\left(\overline{M}^{(k)} \right)$ de trayectoria ampliada son menores que el valor umbral.

25 10.- Procedimiento para la detección según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizado porque se seleccionan los estados (S_i) en el instante (k) actual que, de todos los estados (S_i) en el instante (k) actual, presenten una métrica $\left(\overline{M}^{(k)} \right)$ de trayectoria ampliada mínima.

11.- Procedimiento para la detección según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizado porque se seleccionan los estados (S_i) en el instante (k) actual que, de todos los estados (S_i) que en el instante $(k-1)$ precedente presentan un estado (S_i) precedente común en cada caso, presentan una métrica $\left(\overline{M}^{(k)} \right)$ de trayectoria ampliada mínima en el instante (k) actual.

30 12.- Procedimiento para la detección según la reivindicación 10 u 11, caracterizado porque en el caso de una gran diferencia en la potencia de señal entre señales de menor potencia y señales de mayor potencia, solo se siguen adicionalmente los estados (S_i) en el instante (k) actual que estén asociados con un punto (M') de hipótesis de símbolos de datos en cada caso con las mínimas distancias euclidianas respecto al símbolo $\left(d_1(k), \dots, d_u(k), \dots, d_U(k) \right)$ de datos recibido para cada señal de menor potencia.

35 13.- Procedimiento para la detección según la reivindicación 12, caracterizado porque para la determinación del punto (M) de hipótesis de símbolos de datos en cada caso con las mínimas distancias euclidianas respecto al símbolo

$(\underline{d}_1(k), \dots, \underline{d}_u(k), \dots, \underline{d}_U(k))$ de datos recibido se calcula para cada señal de menor potencia en el instante (k) la relación entre la potencia de señal medida de la(s) señal(es) de mayor potencia y la potencia de señal medida de la(s) señal(es) de menor potencia.

5 14.- Procedimiento para la detección según la reivindicación 13, caracterizado porque el número (M) se predetermina de forma proporcionalmente inversa a la relación entre la potencia de señal medida de la(s) señal(es) de mayor potencia y la potencia de señal medida de la(s) señal(es) de menor potencia.

15.- Procedimiento para la detección según la reivindicación 13 o 14, caracterizado porque la potencia de señal de una señal transmitida a través de un canal de transmisión se mide determinando la potencia de señal de la respuesta a impulso de canal asociada con el canal de transmisión correspondiente.

10 16.- Procedimiento para la detección según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 15, caracterizado porque la hipótesis $(\hat{\underline{h}}_1^{(k)}, \dots, \hat{\underline{h}}_u^{(k)}, \dots, \hat{\underline{h}}_U^{(k)})$ de estimación de canal en el instante (k) actual se determina de forma iterativa mediante un procedimiento adaptivo y recursivo de estimación de canal a partir de una hipótesis $(\hat{\underline{h}}_1^{(k-1)}, \dots, \hat{\underline{h}}_u^{(k-1)}, \dots, \hat{\underline{h}}_U^{(k-1)})$ de estimación de canal estimada en el instante $(k-1)$ precedente.

15 17.- Procedimiento para la detección según la reivindicación 16, caracterizado porque el procedimiento de estimación de canal adaptivo y recursivo es el algoritmo mínimo cuadrático recursivo.

18.- Procedimiento para la detección según la reivindicación 17, caracterizado porque para el cálculo iterativo de la hipótesis $(\hat{\underline{h}}_1^{(k)}, \dots, \hat{\underline{h}}_u^{(k)}, \dots, \hat{\underline{h}}_U^{(k)})$ de estimación de canal se determina para cada estado (S_i) seleccionado en el instante (k) actual un error $(e^{(k/k-1)})$ de estimación a priori entre la secuencia $(\underline{r}^{(k)})$ de símbolos de datos recibida hasta el instante (k) actual y la estimación $(\hat{\underline{d}}_1^{(k)}, \dots, \hat{\underline{d}}_u^{(k)}, \dots, \hat{\underline{d}}_U^{(k)})$ de la secuencia $(\underline{d}_1^{(k)}, \dots, \underline{d}_u^{(k)}, \dots, \underline{d}_U^{(k)})$ de símbolos de datos enviada hasta el instante (k) actual ponderada con la respuesta $(\hat{\underline{h}}_1^{(k-1)}, \dots, \hat{\underline{h}}_u^{(k-1)}, \dots, \hat{\underline{h}}_U^{(k-1)})$ a impulso del canal de transmisión estimada en el instante $(k-1)$ precedente para el estado (S_i) precedente en cada caso.

20 19.- Procedimiento para la detección según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 16, caracterizado porque la hipótesis $(\hat{\underline{h}}_1^{(k)}, \dots, \hat{\underline{h}}_u^{(k)}, \dots, \hat{\underline{h}}_U^{(k)})$ de estimación de canal en el instante (k) actual se determina a través de un procedimiento de estimación de canal adaptivo a partir de la hipótesis $(\hat{\underline{h}}_1^{(k-n)}, \dots, \hat{\underline{h}}_u^{(k-n)}, \dots, \hat{\underline{h}}_U^{(k-n)})$ de estimación de canal pasada de menor antigüedad de todas las hipótesis $(\hat{\underline{h}}_1^{(k-n)}, \dots, \hat{\underline{h}}_u^{(k-n)}, \dots, \hat{\underline{h}}_U^{(k-n)}; \hat{\underline{h}}_1^{(k-2n)}, \dots, \hat{\underline{h}}_u^{(k-2n)}, \dots, \hat{\underline{h}}_U^{(k-2n)}; \hat{\underline{h}}_1^{(k-3n)}, \dots, \hat{\underline{h}}_u^{(k-3n)}, \dots, \hat{\underline{h}}_U^{(k-3n)})$, ... de estimación de canal estimadas en los instantes $k-n, k-2n, k-3n, \dots$ con una trama n temporal constante.

25 20.- Procedimiento para la detección según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 16, caracterizado porque la hipótesis $(\hat{\underline{h}}_1^{(k)}, \dots, \hat{\underline{h}}_u^{(k)}, \dots, \hat{\underline{h}}_U^{(k)})$ de estimación de canal en el instante (k) actual se determina a través de un procedimiento de estimación de canal adaptivo a partir de la hipótesis $(\hat{\underline{h}}_1^{(0)}, \dots, \hat{\underline{h}}_u^{(0)}, \dots, \hat{\underline{h}}_U^{(0)})$ de estimación de canal estimada al comienzo (0) de la transmisión.

30 21.- Ecuador para la detección de al menos una secuencia $(\underline{d}_1^{(k)}, \dots, \underline{d}_u^{(k)}, \dots, \underline{d}_U^{(k)})$ de símbolos de datos enviada perteneciente en cada caso a una señal transmitida a través de un canal de transmisión variable en el tiempo en cada caso a partir de una secuencia $(\underline{r}^{(k)})$ de símbolos de datos recibida perteneciente a una única señal recibida, en el

que para cada instante (k) se estima de forma alternante la respuesta $(\underline{h}_1^{(k)}, \dots, \underline{h}_u^{(k)}, \dots, \underline{h}_U^{(k)})$ a impulso del canal de transmisión correspondiente y el símbolo $(d_1(k), \dots, d_2(k), \dots, d_U(k))$ de datos enviado actualmente en cada caso, seleccionándose para la estimación del símbolo $(d_1(k), \dots, d_2(k), \dots, d_U(k))$ de datos enviado en el instante (k) actual los estados (S_i) del diagrama de estados en los que las métricas $(\overline{M}^{(k)})$ ampliadas, calculadas de forma iterativa

5 y compuestas en cada caso por una métrica $(\tilde{M}^{(k)})$ de trayectoria y un término $(\delta(k))$ de ampliación, son mínimas, caracterizado porque el numerador del término $(\delta(k))$ de ampliación se obtiene únicamente de la diferencia entre los símbolos $(r(k+1), r(k+2), r(k+3), \dots)$ de datos recibidos en instantes $(k+1, k+2, k+3)$ futuros y las estimaciones $(\hat{d}_1^{(k)}, \dots, \hat{d}_u^{(k)}, \dots, \hat{d}_U^{(k)})$ de la secuencia $(\underline{d}_1^{(k)}, \dots, \underline{d}_u^{(k)}, \dots, \underline{d}_U^{(k)})$ de símbolos de datos enviada en cada caso hasta el instante (k) actual ponderada con la respuesta $(\hat{h}_1^{(k)}, \dots, \hat{h}_u^{(k)}, \dots, \hat{h}_U^{(k)})$ a impulso del correspondiente canal de

10 transmisión.

22.- Medio de almacenamiento digital con señales de control legibles de forma electrónica que puede actuar conjuntamente con un procesador de señales digital o un ordenador programable de modo que se realice el procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 20.

15 23.- Programa informático con medios de codificación de programas para poder realizar todos los pasos según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 20 cuando el programa se ejecuta en un ordenador o un procesador de señales digital.

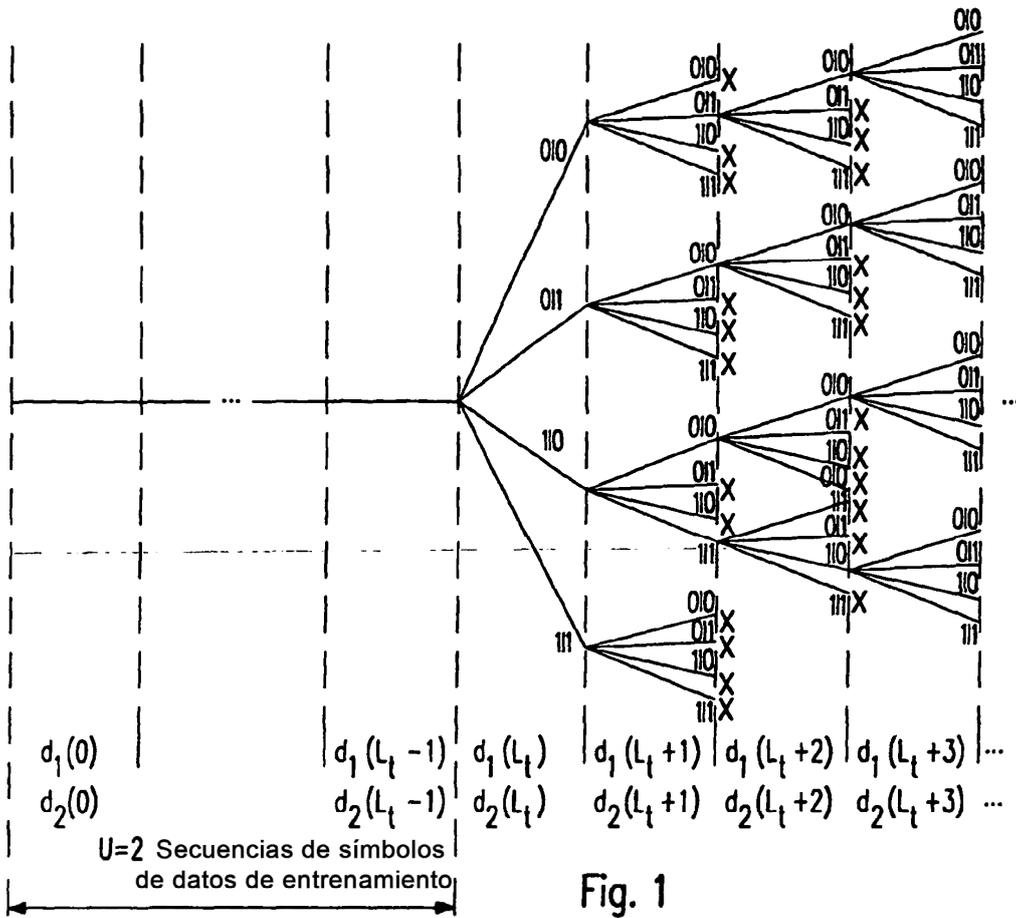


Fig. 1

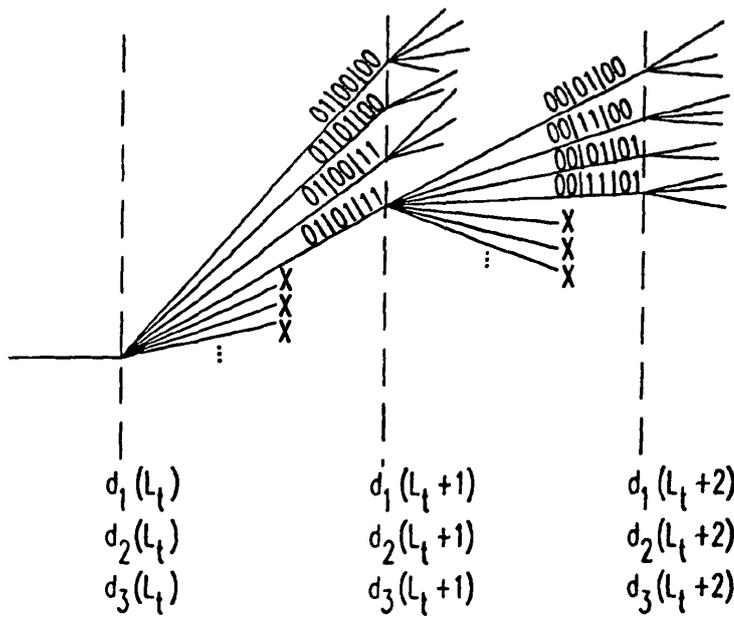


Fig. 2

$$\begin{array}{c}
 \left[\begin{array}{cccc|cc}
 r(L_t) & \dots & r(k-2) & r(k-1) & r(k) & r(k+1) & r(k+2) \\
 d_1(L_t) \cdot \hat{h}_1(0) & \dots & d_1(k-2) \cdot \hat{h}_1(0) & d_1(k-1) \cdot \hat{h}_1(0) & d_1(k) \cdot \hat{h}_1(0) & ? \cdot \hat{h}_1(0) & ? \cdot \hat{h}_1(0) \\
 + & & + & + & + & + & + \\
 d_1(L_t-1) \cdot \hat{h}_1(1) & \dots & d_1(k-3) \cdot \hat{h}_1(1) & d_1(k-2) \cdot \hat{h}_1(1) & d_1(k-1) \cdot \hat{h}_1(1) & d_1(k) \cdot \hat{h}_1(1) & ? \cdot \hat{h}_1(1) \\
 + & & + & + & + & + & + \\
 d_1(L_t-2) \cdot \hat{h}_1(2) & \dots & d_1(k-4) \cdot \hat{h}_1(2) & d_1(k-3) \cdot \hat{h}_1(2) & d_1(k-2) \cdot \hat{h}_1(2) & d_1(k-1) \cdot \hat{h}_1(2) & d_1(k) \cdot \hat{h}_1(2) \\
 + & & + & + & + & + & + \\
 d_2(L_t) \cdot \hat{h}_2(0) & \dots & d_2(k-1) \cdot \hat{h}_2(0) & d_2(k-1) \cdot \hat{h}_2(0) & d_2(k) \cdot \hat{h}_2(0) & ? \cdot \hat{h}_2(0) & ? \cdot \hat{h}_2(0) \\
 + & & + & + & + & + & + \\
 d_2(L_t-1) \cdot \hat{h}_2(1) & \dots & d_2(k-2) \cdot \hat{h}_2(1) & d_2(k-2) \cdot \hat{h}_2(1) & d_2(k-1) \cdot \hat{h}_2(1) & d_2(k) \cdot \hat{h}_2(1) & ? \cdot \hat{h}_2(1)
 \end{array} \right] \\
 \rightarrow \tilde{M}(k) \qquad \qquad \qquad \rightarrow \delta(k)
 \end{array}$$

Fig. 3

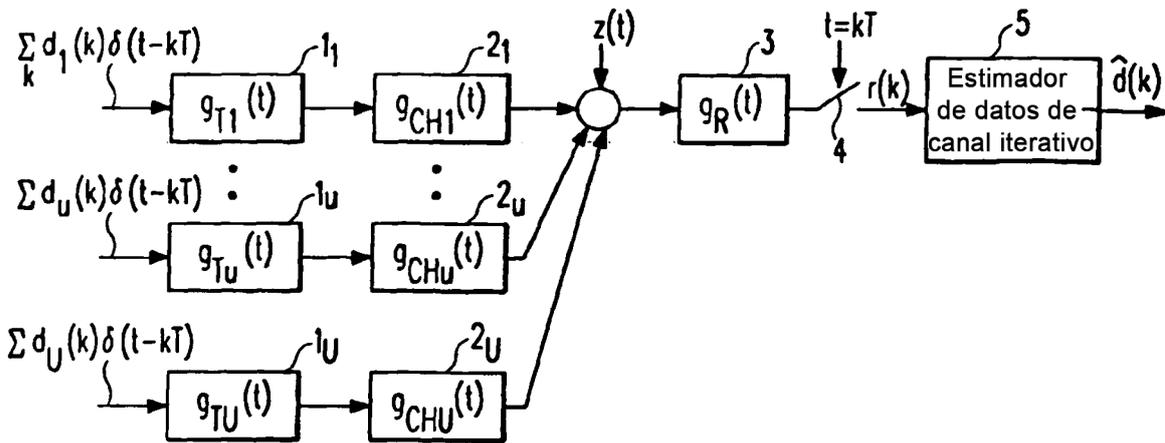


Fig. 4

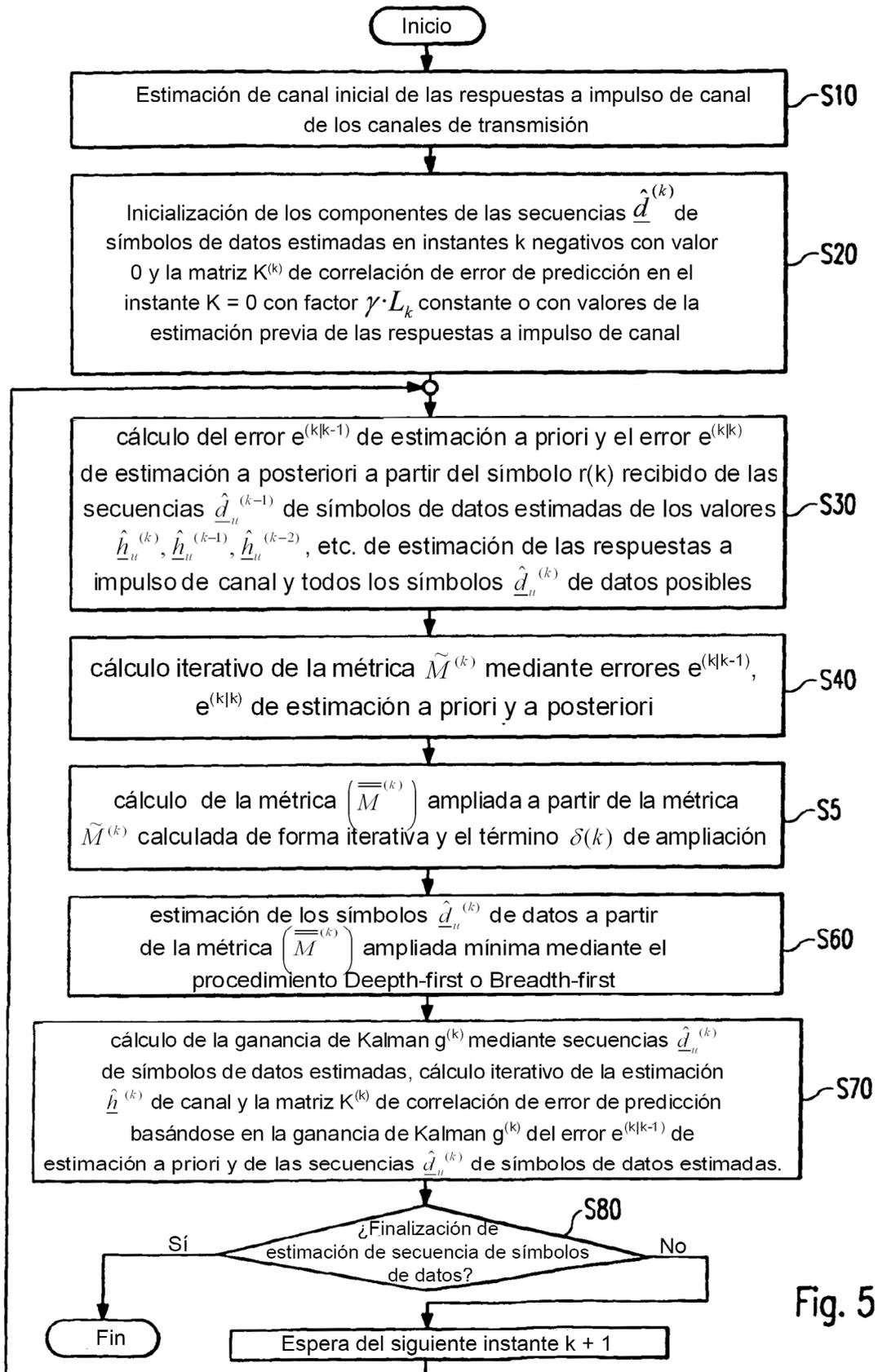


Fig. 5

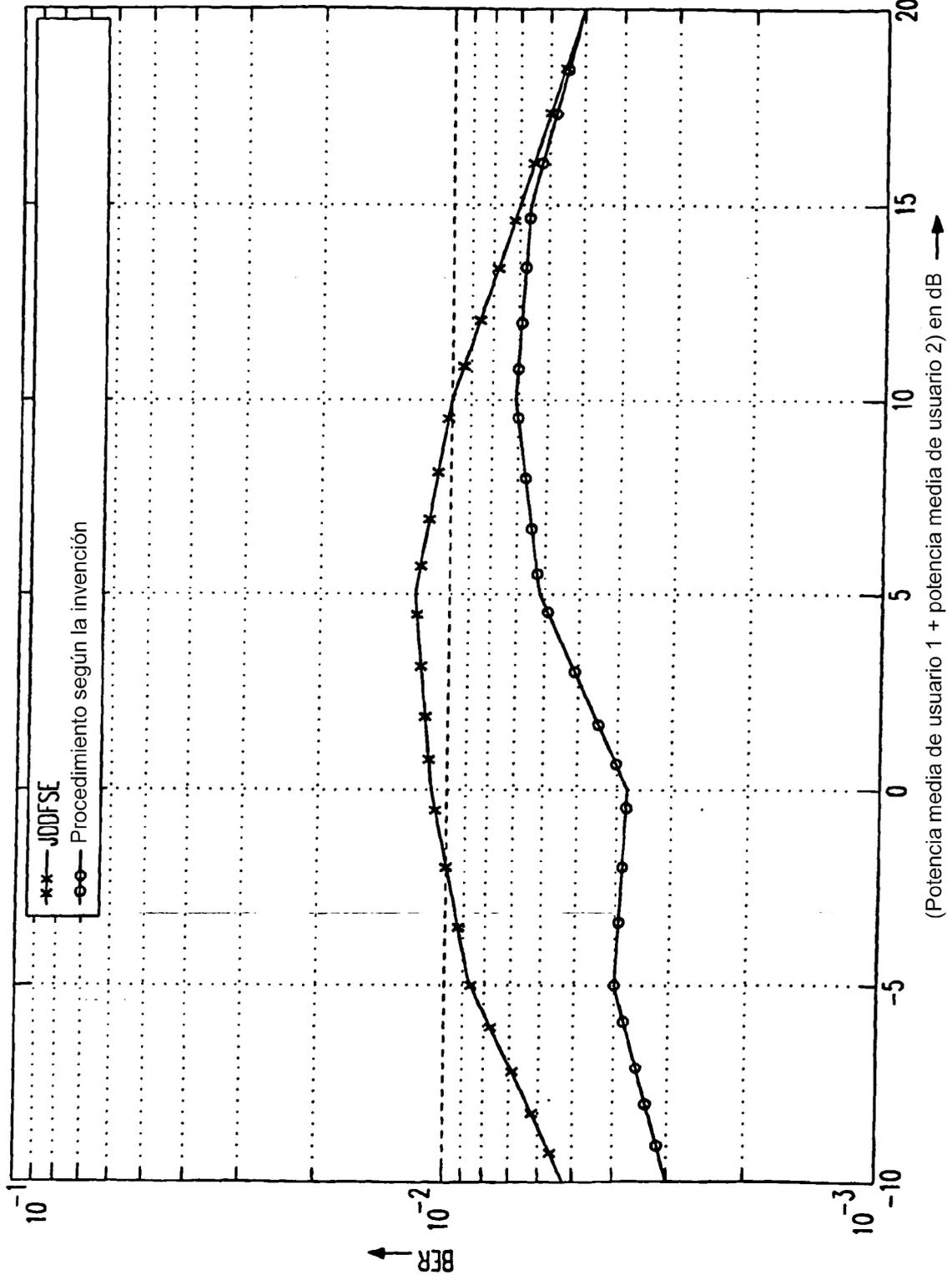


Fig.6