

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 593 093**

21 Número de solicitud: 201530789

51 Int. Cl.:

H04L 7/00 (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION

B1

22 Fecha de presentación:

05.06.2015

43 Fecha de publicación de la solicitud:

05.12.2016

Fecha de concesión:

12.09.2017

45 Fecha de publicación de la concesión:

19.09.2017

73 Titular/es:

**FUNDACIO CENTRE TECNOLOGIC DE
TELECOMUNICACIONS DE CATALUNYA
(100.0%)**

**Parc Mediterrani de la Tecnologia Av. Carl
Friedrich Gauss, 7
08860 Castelldefels (Barcelona) ES**

72 Inventor/es:

**PFLETSCHINGER, Stephan;
NAVARRO RODERO, Mónica y
CLOSAS GOMEZ, Pau**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

54 Título: **Método y dispositivo para sincronización de trama en sistemas de comunicación**

57 Resumen:

Método y dispositivo para sincronización de trama en sistemas de comunicación.

Un dispositivo y método para la sincronización de trama en un receptor de un sistema de comunicación, donde una trama, transmitida en una señal perteneciente a una constelación J-PSK, $J \geq 2$, se recibe comprendiendo una secuencia de datos (d), un marcador de sincronización (a) que precede la secuencia de datos (d) y una secuencia de adquisición (a) que precede al marcador de sincronización (s) y donde el marcador de sincronización se busca utilizando la secuencia de adquisición (a). Además, puede utilizarse una ventana de observación deslizante (x_m) de longitud extendida (M), siendo $M \geq N$. También, puede utilizarse un detector de pico basado en la existencia de un búfer para encontrar el marcador de sincronización (s) dentro de un búfer expandido con símbolos recibidos además de un decodificador de lista ordenada para aprovechar la capacidad de detección de errores del código de canal en el receptor, favoreciendo la detección de falsa alarma.

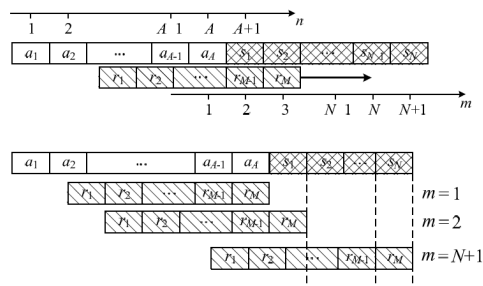


FIG. 3

DESCRIPCIÓN

Método y dispositivo para sincronización de trama en sistemas de comunicación

5 **Campo de la invención**

La presente invención tiene aplicación en el sector de las telecomunicaciones, en concreto, trata la sincronización de trama en sistemas de comunicaciones digitales. Más específicamente, la invención propone un método y un dispositivo receptor para optimizar la sincronización de trama en sistemas de comunicación (inalámbricos o mediante cable), por ejemplo en comunicaciones en espacio profundo.

Antecedentes de la invención

En muchos sistemas de comunicaciones digitales, los datos transmitidos se organizan por tramas, donde el inicio de la trama, que es de interés para el receptor, se indica con un marcador de sincronización ('sync marker' en inglés) conocido. Antes del marcador de sincronización (abreviado: marcador sync), se transmite otra secuencia con características conocidas. Este marcador sync es una secuencia de símbolos conocidos que precede directamente a los datos y ayuda al receptor a determinar el inicio de los datos.

La sincronización de trama es, pues, una función importante en el receptor, ésta tiene que ser realizada antes que la decodificación de los datos transmitidos pueda empezar. Consiste en encontrar la posición del marcador de sincronización conocido en el flujo de símbolos recibido. Una práctica habitual en ingeniería es calcular la correlación entre parte de la secuencia recibida y el marcador sync para cada posición del símbolo y comparar con un umbral. Esta técnica es óptima para el canal binario simétrico, pero no para el canal con ruido aditivo blanco Gaussiano o AWGN (del inglés, AWGN: Additive White Gaussian Noise) o para canales con desvanecimientos.

Por ejemplo, en caso de marcadores de sincronización insertados periódicamente, J.L. Massey reveló un sincronizador de trama óptimo en "Optimum frame synchronization", IEEE Trans. Commun., vol. 20, no. 2, pp. 115–119, April 1972. Para un marcador sync único, M. Chiani presentó la solución "Noncoherent frame synchronization," IEEE Trans. Commun., vol. 58, no. 5, pp. 1536–1545, May 2010, que describe los principios de contraste de hipótesis que se pueden encontrar en "Statistical Inference", Casella et al., Duxbury Resource Center, June 2001, para sincronización de trama en canales AWGN que se resumen como:

Se considera un sistema de comunicaciones donde un transmisor envía tramas de datos según una modulación BPSK, estas tramas están precedidas por el marcador sync de trama. El marcador consiste de una secuencia conocida de N símbolos BPSK. La tarea del sincronizador de trama es la de encontrar este marcador de sincronismo en el flujo de símbolos ruidosos recibidos. El procedimiento utilizado típicamente toma los últimos N símbolos recibidos $\mathbf{r} = [r_1, r_2, \dots, r_N]$ y los compara con el marcador de sincronización, para entonces tomar una decisión según dos posibles hipótesis, H_0 o H_1 :

H_0 : \mathbf{r} no corresponde al marcador de sincronización

H_1 : \mathbf{r} corresponde al marcador de sincronización

Las respectivas decisiones se denotan como D_0 o D_1 . El enfoque óptimo para este problema de contraste de hipótesis se describe en "On sequential frame synchronization in AWGN channels" M. Chiani et al., IEEE Trans. Commun., vol. 54, no. 2, pp. 339–348, Feb. 2006. Este enfoque óptimo se basa en el test de la razón de verosimilitudes o LRT (del inglés, LRT: likelihood ratio test) que se puede encontrar en "Statistical Inference" por Casella et al.:

$$\Lambda(\mathbf{r}) \triangleq \frac{p(\mathbf{r} | \mathcal{H}_1)}{p(\mathbf{r} | \mathcal{H}_0)} \underset{\mathcal{D}_0}{\overset{\mathcal{D}_1}{\geq}} \lambda \quad (\text{ecuación 1})$$

donde $\mathbf{r} = [r_1, r_2, \dots, r_N]$ denota la secuencia recibida dentro de la ventana de observación. En otras palabras, el enfoque adoptado por M. Chiani et al. utiliza una ventana deslizante de la misma longitud que el marcador de sincronización, tomando N símbolos del flujo de símbolos ruidosos recibidos. Entonces, se calcula una métrica $\Lambda(\mathbf{r})$ según la ecuación 1 y su valor se compara con un umbral. Si el valor de la métrica calculada $\Lambda(\mathbf{r})$ supera el umbral, el receptor decide que la secuencia en la ventana de observación $\mathbf{r} = [r_1, r_2, \dots, r_N]$ corresponde con el marcador de sincronización.

Para señalización binaria en canales AWGN, los símbolos recibidos pueden expresarse como

$$r_n = x_n + w_n, \quad x_n \in \{-1, 1\} \quad (\text{ecuación 2})$$

donde $x_n \in \{-1, 1\}$ denota los símbolos BPSK transmitidos y r_n la señal recibida. El ruido w_n se asume de media nula, varianza $N_0/2$ y según una distribución normal dada por :

$$p_w(w) = \frac{1}{\sqrt{\pi N_0}} \exp\left(-\frac{w^2}{N_0}\right) \quad (\text{ecuación 3})$$

donde $\mathbf{w} = [w_1, \dots, w_N]$ es AWGN.

Definiendo el marcador de sincronización como $\mathbf{s} = [s_1, s_2, \dots, s_N]$ con $s_n \in \{-1, 1\}$, mientras que $\mathbf{d} = [d_1, d_2, \dots, d_N]$ con $d_n \in \{-1, 1\}$ se refiere a una secuencia de datos aleatorios, las dos hipótesis pueden formularse como:

$$\begin{aligned} H_0 : \mathbf{r} &= \mathbf{d} + \mathbf{w} \\ H_1 : \mathbf{r} &= \mathbf{s} + \mathbf{w} \end{aligned} \quad (\text{ecuación 4})$$

Como se muestra en la referencia "On sequential frame synchronization in AWGN channels" anteriormente mencionada, esto lleva a la métrica "Massey-Chiani (MC)" $\Lambda_{\text{MC},1}(\mathbf{r})$ definida como:

$$\Lambda_{\text{MC},1}(\mathbf{r}) = \frac{2}{N_0} \sum_{n=1}^N s_n r_n - \text{Incosh}\left(\frac{2}{N_0} r_n\right) \quad (\text{ecuación 5})$$

Este enfoque es válido para cualquier marcador de sincronización, pero omite el caso de "datos mixtos" donde la ventana de observación \mathbf{r} contiene tanto datos, como una parte del marcador. Nótese que la métrica de Massey-Chiani $\Lambda_{\text{MC},1}$ es equivalente a las ecuaciones descritas por Massey en la referencia "Optimum frame synchronization" (página 116) para sincronización de trama en el caso de marcadores periódicamente repetidos, que se mostró también en la ecuación 12 de "On sequential frame synchronization in AWGN channels" por Chiani. Por esta razón, $\Lambda_{\text{MC},1}$ se denomina la métrica de Massey-Chiani (MC).

Suponiendo que la sincronización de tiempo, frecuencia y fase se ha realizado perfectamente, la ambigüedad de signo en los símbolos BPSK recibidos se tiene que tomar en consideración. Aún con sincronización perfecta de tiempo, frecuencia y fase, la ambigüedad en la polaridad de los símbolos recibidos r_n permanece.

Como referencia, la métrica MC para canales binarios en AWGN con ambigüedad de signo puede ser modelada como:

$$r_n = h \cdot x_n + w_n, \quad w_n \sim \mathcal{N}(0, N_0/2) \quad (\text{ecuación 6})$$

donde $h \in \{-1, 1\}$, $P[h = -1] = P[h = 1]$ considera el signo desconocido, siendo este coeficiente constante pero desconocido en cada intento de sincronización de trama. Por este motivo, en este caso, las dos hipótesis se pueden reescribir como:

$$\begin{aligned} H_0 : \mathbf{r} &= h \cdot \mathbf{d} + \mathbf{w} \\ H_1 : \mathbf{r} &= h \cdot \mathbf{s} + \mathbf{w} \end{aligned} \quad (\text{ecuación 7})$$

donde el coeficiente h puede ser omitido para la hipótesis nula, dado que no modifica la estadística de la secuencia de datos aleatorios.

5 Con el modelo de señal de la ecuación 6, la verosimilitud de la hipótesis nula se puede obtener con la misma verosimilitud condicional que en el caso en el que el signo es conocido:

$$\begin{aligned} p(\mathbf{r} | H_0) &= \prod_{n=1}^N \frac{1}{2} (p(r_n | d_n = -1) + p(r_n | d_n = 1)) \\ &= K_N(\mathbf{r}) \prod_{n=1}^N \cosh(\tilde{r}_n) \end{aligned}$$

donde definimos

$$K_N(\mathbf{r}) \triangleq \prod_{n=1}^N \frac{1}{\sqrt{\pi N_0}} \exp\left(-\frac{r_n^2 + 1}{N_0}\right)$$

10 y $\tilde{r}_n \triangleq \frac{2}{N_0} r_n$.

Para las otras hipótesis, vemos que

$$\begin{aligned} p(\mathbf{r} | H_1) &= \frac{1}{2} (p(\mathbf{r} | \mathbf{x} = -\mathbf{s}) + p(\mathbf{r} | \mathbf{x} = \mathbf{s})) \\ &= \frac{1}{2} \left(\prod_{n=1}^N p(r_n | x_n = -s_n) + \prod_{n=1}^N p(r_n | x_n = s_n) \right) \\ &= K_N(\mathbf{r}) \cdot \cosh\left(\frac{2}{N_0} \sum_{n=1}^N r_n s_n\right) = K_N(\mathbf{r}) \cdot \cosh(\tilde{\mathbf{r}} \mathbf{s}^T) \end{aligned}$$

Este resultado lleva a la métrica MC con ambigüedad de signo:

$$\Lambda_{MC,2}(\mathbf{r}) = \text{Incosh}(\tilde{\mathbf{r}} \mathbf{s}^T) - \sum_{n=1}^N \text{Incosh}(\tilde{r}_n) \quad (\text{ecuación 8})$$

15

Siguiendo el mismo proceso que en "On sequential frame synchronization in AWGN channels" por Chiani, la métrica basada en el test de la razón de verosimilitudes generalizada o GLRT (del inglés, GLRT: generalized likelihood ratio test) $\Lambda_{G-LRT}(\mathbf{r})$ se puede obtener como:

$$20 \quad \Lambda_{G-LRT}(\mathbf{r}) = \text{Incosh}(\tilde{\mathbf{r}} \mathbf{s}^T) - \sum_{n=1}^N |\tilde{r}_n| \quad (\text{ecuación 9})$$

y utilizando la aproximación $\text{Incosh}(x) \approx |x| - \ln(2)$, la métrica LRT simplificada o S-LRT (del

inglés, S-LRT: simplified LRT) $\Lambda_{S-LRT}(\mathbf{r})$ se puede derivar de las ecuaciones 8 y 9:

$$\Lambda_{S-LRT}(\mathbf{r}) = |\mathbf{r}\mathbf{s}^T| - \sum_{n=1}^N |r_n| \quad (\text{ecuación 10})$$

Esta expresión aparece también en “Noncoherent frame synchronization” por Chiani (página 1539, ecuación 25) como un test heurístico para receptores no coherentes, donde la fase está uniformemente distribuida en $[-\pi, \pi]$.

Por otro lado, la correlación de las muestras recibidas con el marcador de sincronización es todavía una técnica popular a pesar de su sub-optimalidad y la reducción marginal en coste computacional, comparada con, por ejemplo, la ecuación 10. Dado que las métricas basadas en correlación carecen de una justificación teórica rigurosa, se aplica la correlación con la secuencia recibida así como también con su inversa, definiéndose la métrica de correlación para el canal AWGN con señal de entrada binaria con ambigüedad de signo, como el máximo de ambas correlaciones.

Para una correlación fuerte (‘hard correlation’, en inglés), llamada aquí también correlación “hard” $\Lambda_{HC}(\mathbf{r})$, se toma una decisión “hard” en cada bit y, entonces, se correla con el marcador de sincronización conocido:

$$\begin{aligned} \Lambda_{HC}(\mathbf{r}) &\triangleq \frac{1}{2} \max \{ \text{sgn}(\mathbf{r}) \mathbf{s}^T, -\text{sgn}(\mathbf{r}) \mathbf{s}^T \} \\ &= \frac{1}{2} |\text{sgn}(\mathbf{r}) \mathbf{s}^T| \in \left\{ 0, 1, \dots, \frac{N}{2} \right\} \end{aligned} \quad (\text{ecuación 11})$$

El factor $\frac{1}{2}$ se introduce en la ecuación 11 para obtener un rango de enteros contiguos como posibles valores de la métrica. Naturalmente, cualquier otro factor constante (o función monótonica) podría utilizarse.

En analogía a la métrica basada en correlar con la señal después de tomar una decisión “hard”, otra métrica natural es la basada en la correlación débil (‘soft correlation’, en inglés), llamada aquí también correlación “soft” $\Lambda_{SC}(\mathbf{r})$, la cual aplica la correlación directamente a la señal ruidosa BPSK:

$$\Lambda_{SC}(\mathbf{r}) \triangleq \frac{1}{2} |\mathbf{r}\mathbf{s}^T| \quad (\text{ecuación 12})$$

El factor $1/2$ se introduce otra vez por conveniencia y comparabilidad con la ecuación 11.

Nótese que, en contraste con el proceso de decodificación, no hay razón para que la correlación “soft” conlleve mejores resultados que la correlación “hard”.

5 Mientras que la métrica de correlación es óptima para el canal binario simétrico, para el canal AWGN ambas versiones son solamente métricas heurísticas.

10 Además, en sistemas de comunicaciones y telecomando para espacio profundo o espaciales, se espera que en misiones futuras los receptores operen en relaciones señal a ruido bajas, por ejemplo en transmisiones directas a Marte. En esos casos, con el enfoque actual para sincronización de trama se obtienen prestaciones muy bajas.

15 Por ese motivo, hay una necesidad en el estado del arte en encontrar formas más eficientes de tratar la sincronización de trama en sistemas de comunicaciones digitales que permitan mejoras significativas de sus prestaciones con complejidad de implementación marginales con respecto a las soluciones del estado del arte.

Resumen de la invención

20 La invención actual soluciona los problemas ya mencionados y supera las limitaciones del estado del arte explicadas anteriormente, proporcionando un método y un dispositivo para la sincronización de trama aplicable a formatos de trama donde el marcador de sincronización (marcador sync) conocido es precedido por una secuencia de adquisición. Este es el caso para comunicaciones de telecomando en el espacio y muchos otros sistemas de comunicaciones digitales.

25 La invención puede aplicarse a canales con una salida “soft”, es decir, con una señal de valor real o complejo o una versión cuantificada de un número real o complejo. Por ejemplo, una señal de entrada binaria recibida sobre un canal aditivo con ruido blanco Gaussiano (AWGN). La invención puede ser extendida con facilidad de una señalización BPSK a una señalización de mayor orden J-PSK, con $J \geq 2$.

30 La invención actual tiene en cuenta la ambigüedad de signo presente en los símbolos recibidos así como el conocimiento de los símbolos de la secuencia de adquisición que preceden al marcador de sincronización. En una posible realización, para el caso común en el que el marcador de sincronización es seguido por datos codificados, la invención actual
35 aprovecha la capacidad de detección de errores del decodificador de canal y aplica una detección basada en una decodificación ordenada (“list decoding”, en inglés), para la

sincronización de trama (el decodificador puede denominarse entonces “decodificador de lista ordenada”; en inglés, “list decoder”). En otra posible realización, la invención actual utiliza una ventana de observación deslizante de tamaño extendido en el lado del receptor así como las propiedades conocidas de la secuencia de adquisición para obtener la métrica de decisión adecuada para la sincronización de trama. Los ejemplos más comunes de secuencias de adquisición son secuencias de símbolos de valor constante o de símbolos alternados, pero cualquier secuencia periódica con un periodo corto también pueden ser consideradas.

5

La invención propuesta puede ser aplicada en sistemas de comunicaciones de telecomando en comunicaciones espaciales, pero no está limitada a esta industria. La invención tiene aplicación en la mayoría de sistemas de comunicaciones digitales, incluyendo, sistemas de comunicaciones móviles, inalámbricas o cableadas.

10

Un primer aspecto de la invención actual se refiere a un método para la sincronización de trama, donde la trama comprende una secuencia de datos, un marcador de sincronización que precede la secuencia de datos y una secuencia de adquisición la cuál precede al marcador de sincronización, el método utilizando la secuencia de adquisición para la búsqueda del marcador de sincronización dentro de la trama.

15

Un segundo aspecto de la invención actual se refiere a un dispositivo para la sincronización de trama en el extremo receptor del sistema de telecomunicación, el dispositivo sincronizador de trama comprendiendo además medios para la implementación del método descrito anteriormente.

20

Un último aspecto de la invención actual, un programa de ordenador es revelado, comprendiendo un código de programa de ordenador con medios adaptados para realizar los pasos del método descrito, cuando el dicho programa es ejecutado en medios de procesado de un dispositivo receptor, dichos medios de procesado siendo un ordenador, un procesador digital, una FPGA (del inglés Field Programmable Gate Array), un circuito integrado para una aplicación específica (del inglés, ASIC: Application-Specific Integrated Circuit), un micro-procesador, un micro-controlador, o cualquier otra forma de hardware programable.

25

El método de acuerdo con los aspectos de la invención descritos anteriormente tiene una serie de ventajas con respecto al arte previo, las cuáles pueden resumirse como sigue:

30

35

- La invención propuesta permite ahorrar en energía transmitida por símbolo, lo cuál es crucial en misiones en espacio donde se requiere operar en baja SNR.

- En términos de errores de sincronización de trama, la invención actual obtiene un rendimiento prestaciones significativamente mejor que las soluciones del arte previo. Por lo tanto, la fiabilidad del dispositivo receptor propuesto aumenta y, además, el dispositivo es robusto ya que no requiere la estimación de la SNR en el extremo receptor y no necesita mantenimiento.

- La invención puede implementarse en un receptor cualificado para espacio junto con otras funciones del receptor, sin requerimiento de hardware adicional o capacidades de procesado, aparte de esas ya disponibles en un receptor estado-del-arte.

- La invención consigue ganancias en las prestaciones gracias a la presencia de la secuencia de adquisición, pero el método propuesto funciona aunque la secuencia de adquisición no esté presente (es este último caso, con prestaciones similares a otros métodos de sincronización de trama existentes).

Estas y otras ventajas serán aparentes a la luz de la descripción detallada de la invención.

Descripción de los dibujos

Con el propósito de ayudar a entender las características de la invención, de acuerdo con una realización práctica preferida de ésta y para complementar esta descripción, las siguientes figuras son incluidas como parte integral de lo mismo, teniendo un carácter ilustrativo y no limitante:

La Figura 1 muestra la estructura de una trama transmitida en un sistema de comunicación, como arte previo conocido.

La Figura 2 muestra la estructura de una trama sobre la cuál se puede aplicar la invención.

La Figura 3 muestra la estructura y posición de una ventana de observación deslizante de longitud extendida con respecto la trama, de acuerdo con una realización preferida de la invención.

La Figura 4 muestra probabilidades de falso negativo (“missed detection”, en inglés), falsa alarma y error de sincronización de trama para la correlación “soft” y las métricas LRT-A con una longitud de la ventana de observación extendida, de acuerdo con una posible realización de la invención.

La Figura 5 muestra el error de sincronización de trama para un valor fijo de la relación señal-a-ruido, para la correlación "hard", correlación "soft", la métrica Massey-Chiani y las métricas LRT-A, y para diferentes longitudes de la ventana de observación extendida, de acuerdo con otra posible realización de la invención.

5 La Figura 6 muestra el error de sincronización de trama para diferentes valores de la relación señal-a-ruido, para la correlación "hard", correlación "soft", la métrica Massey-Chiani y las métricas LRT-A, y para diferentes longitudes de la ventana de observación extendida, de acuerdo con otra posible realización de la invención.

10 La Figura 7 muestra la estructura de trama y búfer para la detección de pico, de acuerdo con una posible realización de la invención.

La Figura 8 muestra un diagrama de bloques de la arquitectura del receptor usando sincronización de trama, de acuerdo con una posible realización de la invención.

La Figura 9 muestra un diagrama de flujo para la sincronización de trama usando la detección de pico, de acuerdo con una posible realización de la invención.

15 La Figura 10 muestra el error de sincronización de trama en función de la relación señal-a-ruido, de acuerdo con aún otra posible realización de la invención, usando detección múltiple de picos en una ventana de observación de longitud larga.

Realización preferida de la invención

20 Las materias definidas en esta descripción detallada han sido facilitadas para asistir a una comprensión amplia de la invención. Por consiguiente, aquellos con habilidades ordinarias en el arte reconocerán que cambios de variación y modificaciones de materializaciones descritas aquí pueden hacerse sin salirse del alcance y espíritu de la invención. También, la descripción de funciones y elementos bien conocidos se han omitido por claridad y concisión.

30 Por supuesto, las materializaciones de la invención pueden ser implementadas en una variedad de plataformas de arquitectura, servidores operativos y de sistema, dispositivos, sistemas o aplicaciones. Cualquier diseño arquitectónico particular o implementación presentada aquí se proporciona sólo con motivos ilustrativos y de comprensión y no tienen intención de limitar aspectos de la invención.

La Figura 1 ilustra datos transmitidos en una trama cuya estructura consiste en: un marcador de sincronización (s) el cuál es una palabra conocida de longitud N e indica el inicio de los datos (d) transmitidos dentro de un bloque de longitud D . El marcador de sincronización (s) puede denotarse según $\mathbf{s} = [s_1, s_2, \dots, s_N] \in \{-1, 1\}^N$. Antes del marcador de sincronización (s), hay una secuencia predecesora (a) con una estructura conocida de longitud A , siendo la longitud de la secuencia predecesora (a) generalmente desconocida por el receptor. La secuencia predecesora (a) se usa típicamente para la adquisición de sincronismo de tiempo y frecuencia. Por esta razón, a continuación y en el contexto de la invención, esta secuencia se denomina secuencia de adquisición (a) y se denota según

5 $\mathbf{a} = [a_1, a_2, \dots, a_A]$.

Algunos posibles y relevantes ejemplos para la secuencia de adquisición (a) son:

- Una secuencia de símbolos alternados: $a_n = (-1)^n a_n \in \{-1, 1\}$.
- Una secuencia de valores constantes o señal constante: $a_n = a_0 \in \mathbb{R}$, incluyendo el caso $a_0 = 0$

15 En el arte previo, una ventana de observación deslizante (W) de la misma longitud N que el marcador de sincronización (s) toma N símbolos del flujo de símbolos ruidosos recibidos para calcular la métrica $\Lambda(\mathbf{r})$ la cual se compara con un umbral predefinido.

20 Es dentro del contexto de la invención, que varias materializaciones son presentadas ahora con referencia a las FIGs. 2-10.

25 La Figura 2 presenta un ejemplo de trama transmitida para ser sincronizada en el extremo receptor de un sistema de comunicación digital de acuerdo con una posible materialización de la invención. La formulación utilizada a continuación se mantiene para todos los tres casos arriba mencionados de una posible secuencia de adquisición (a): una secuencia de símbolos alternados, una secuencia de todo ceros ("void signal", en inglés) o una señal constante.

30 Para aprovechar mejor las propiedades conocidas de la secuencia de adquisición predecesora (a), se propone el uso de una ventana deslizante extendida (x_m) para el cálculo de la métrica para la sincronización de trama. La ventana de observación deslizante (x_m) se extiende a una longitud $M \geq N$, es decir, la ventana de observación (x_m) puede ser mayor que el marcador de sincronización, tal y como se muestra en la Figura 2.

La secuencia entera libre de ruido puede denotarse según

$$\mathbf{x} = [h_1 \mathbf{a}, h_2 \mathbf{s}, \mathbf{d}] \quad (\text{ecuación 13}),$$

donde \mathbf{d} denota una secuencia de datos desconocida.

Los coeficientes aleatorios $h_1, h_2 \in \{-1, 1\}$ modelan la ambigüedad de símbolo de la señal recibida y la ambigüedad de signo de la secuencia de adquisición (a). Aunque se asume que en el extremo receptor, la ambigüedad de símbolo es la misma para toda la secuencia recibida, los dos coeficientes h_1 y h_2 se necesitan para tener en cuenta también la incertidumbre de si la secuencia de adquisición (a) termina con un valor binario igual a -1 o a $+1$. Dicha incertidumbre podría ser fácilmente eliminada en el extremo transmisor.

Una ventana de observación deslizante extendida libre de ruido (\mathbf{x}_m) en la posición m se define como

$$\mathbf{x}_m \triangleq [h_1 \cdot \mathbf{a}_{M+1-m}, h_2 \cdot \mathbf{s}_{m-1}] \quad (\text{ecuación 14}), \text{ donde } m = 1, 2, \dots, N+1.$$

La Figura 3 ilustra el significado del índice m , el cuál determina la posición de la ventana deslizante (\mathbf{x}_m) relativa a la posición del marcador de sincronización (s). La parte superior (A) de la Figura 3 muestra el indexado de la posición de la ventana deslizante, mientras que la parte inferior (B) ilustra algunos ejemplos de posiciones de la ventana deslizante, es decir, posibles valores del índice m .

Con el indexado de la Figura 3, las dos hipótesis pueden ser reformuladas como:

$$\begin{aligned} H_0 &: m \in \{1, 2, \dots, N\} \\ H_1 &: m = N+1 \end{aligned}$$

La Tabla 1 muestra la relación entre los índices n y m y la ventana de observación (\mathbf{x}_m). El índice m se refiere a la posición del último símbolo de la ventana deslizante (\mathbf{x}_m), contado desde la posición del último símbolo de la secuencia de adquisición (a), mientras que el índice n se refiere a la posición del primer símbolo de la ventana deslizante (\mathbf{x}_m), contada desde el inicio de la secuencia de adquisición (a). Ambos índices están relacionados por la expresión: $n = A - M + m$. Solamente se consideran las posiciones de la ventana donde la ventana de observación deslizante (\mathbf{x}_m) acaba antes o en el mismo intervalo de bit que el marcador de sincronización (s), y por lo tanto la secuencia de datos aleatorios (\mathbf{d}) no tiene ningún efecto.

Tabla 1

n	m	\mathbf{x}_m
$1 \cdots A - M + 1$	1	$h_1 \cdot \mathbf{a}_M$
$A - M + 2$	2	$[h_1 \cdot \mathbf{a}_{M-1}, h_2 \cdot s_1]$
$A - M + 3$	3	$[h_1 \cdot \mathbf{a}_{M-2}, h_2 \cdot \mathbf{s}_2]$
\vdots	\vdots	\vdots
$A - M + N$	N	$[h_1 \cdot \mathbf{a}_{M-N+1}, h_2 \cdot \mathbf{s}_{N-1}]$
$A - M + N + 1$	$N + 1$	$[h_1 \cdot \mathbf{a}_{M-N}, h_2 \cdot \mathbf{s}]$

La señal recibida (\mathbf{r}) en la ventana de observación (\mathbf{x}_m) es entonces:

$$\mathbf{r} = \mathbf{x}_m + \mathbf{w}, \quad \mathbf{w} \sim \mathcal{N}\left(0, \frac{N_0}{2} \mathbf{I}_M\right)$$

5

Uno de los aspectos principales a tener en cuenta cuando se considera la secuencia de adquisición (a) es que, a diferencia del marcador de sincronización (s) precedido por datos aleatorios, el caso de datos mixtos no puede ser ignorado. Por este motivo, se consideran todas las posiciones de la ventana de observación (\mathbf{x}_m) para la hipótesis nula.

10

Para la hipótesis nula,
$$p(\mathbf{r} | H_0) = \sum_{\mu=1}^N \rho_\mu p(\mathbf{r} | m = \mu) \quad (\text{ecuación 15}),$$

donde $\rho_\mu = P[m = \mu]$ denota la probabilidad a priori de que la ventana deslizante (\mathbf{x}_m) está en la posición $m = \mu$, asumiendo que

$$\rho_\mu = \frac{1}{A + N - M - 1} \begin{cases} A - M & \text{for } \mu = 1 \\ 1 & \text{for } \mu = 2, \dots, N \end{cases}$$

15 y la misma probabilidad para las cuatro ambigüedades de signo, es decir,

$$p(\mathbf{r} | m = \mu) = \frac{1}{4} \sum_{h_1, h_2} p(\mathbf{r} | m = \mu, h_1, h_2)$$

entonces

$$\begin{aligned} p(\mathbf{r} | m, h_1, h_2) &= \prod_{n=1}^{M-m+1} p(r_n | x_{mn} = h_1 a_n) \cdot \prod_{n=M-m+2}^M p(r_n | x_{mn} = h_2 s_{n-M+m-1}) \\ &= K_M(\mathbf{r}) \cdot \prod_{n=1}^{M-m+1} \exp(h_1 a_n \tilde{r}_n) \cdot \prod_{n=M-m+2}^M \exp(h_2 s_{n-M+m-1} \tilde{r}_n) \end{aligned}$$

y con $\tilde{\mathbf{r}}_n^m \triangleq [\tilde{r}_n, \tilde{r}_{n+1}, \dots, \tilde{r}_m]$, podemos escribir

20

$$p(\mathbf{r} | m, h_1, h_2) = K_M \cdot \exp\left(h_1 \tilde{\mathbf{r}}_1^{M-m+1} \mathbf{a}_{M-m+1}^T\right) \cdot \exp\left(h_2 \tilde{\mathbf{r}}_{M-m+2}^M \mathbf{s}_{m-1}^T\right)$$

por lo que

$$p(\mathbf{r} | m) = K_M \cdot \cosh\left(\tilde{\mathbf{r}}_1^{M-m+1} \mathbf{a}_{M-m+1}^T\right) \cdot \cosh\left(\tilde{\mathbf{r}}_{M-m+2}^M \mathbf{s}_{m-1}^T\right)$$

y

$$p(\mathbf{r} | H_0) = K_M \sum_{m=1}^N \rho_m \cosh\left(\tilde{\mathbf{r}}_1^{M-m+1} \mathbf{a}_{M-m+1}^T\right) \cdot \cosh\left(\tilde{\mathbf{r}}_{M-m+2}^M \mathbf{s}_{m-1}^T\right)$$

5

Para la otra hipótesis, obtenemos

$$p(\mathbf{r} | H_1) = K_M \cdot \cosh\left(\tilde{\mathbf{r}}_1^{M-N} \mathbf{a}_{M-N}^T\right) \cdot \cosh\left(\tilde{\mathbf{r}}_{M-N+1}^M \mathbf{s}^T\right)$$

Lo cual deriva en una métrica de test de la relación de verosimilitudes para la secuencia de adquisición, LRT-A, - la "A" representa la secuencia de adquisición (a)- en el dominio logarítmico:

10

$$\Lambda_{LRT-A}(\mathbf{r}) = \ln \cosh\left(\tilde{\mathbf{r}}_1^{M-N} \mathbf{a}_{M-N}^T\right) + \ln \cosh\left(\tilde{\mathbf{r}}_{M-N+1}^M \mathbf{s}^T\right) - \ln \sum_{m=1}^N \rho_m \cosh\left(\tilde{\mathbf{r}}_1^{M-m+1} \mathbf{a}_{M-m+1}^T\right) \cdot \cosh\left(\tilde{\mathbf{r}}_{M-m+2}^M \mathbf{s}_{m-1}^T\right)$$

Esta expresión se simplifica ligeramente para $M = N$, pero no es idéntica a la ecuación 8 descrita en el arte previo. La diferencia viene del hecho de que aquí el caso de datos mixto se ha tenido en cuenta explícitamente.

15

La aplicación de la LRT estándar puede derivar en dos tipos de errores en cada posición de símbolo:

- i) Una falsa alarma ocurre si en presencia del marcador de sincronización (s) se indica $\Lambda(\mathbf{r}) \geq \lambda$ en otra posición distinta a la verdadera,
- ii) Un falso negativo ocurre si la ventana de observación (x_m) está en la posición verdadera pero la métrica $\Lambda(\mathbf{r})$ está por debajo del umbral λ .

20

Estos eventos de errores se pueden distinguir según la posición de la ventana dada por el índice n mostrado en la Tabla 1. Las probabilidades de falsa alarma $P_{fa}(v)$ y falso negativo P_{md} son dadas respectivamente, por

25

$$P_{fa}(v) = P[\Lambda \geq \lambda, n = v], v = 1, \dots, A - M + N \quad (\text{ecuación 16})$$

$$P_{md} = P[\Lambda < \lambda, m = N + 1]$$

Para la probabilidad de falsa alarma total \bar{P}_{fa} , dado que los eventos $\{n=1\}, \{n=2\}, \dots, \{n=A-M+N\}$ son mutuamente excluyentes, tenemos

$$\bar{P}_{fa} = \sum_{v=1}^{A-M+N} P_{fa}(v) \text{ (ecuación 17)}$$

5 Dado que en cada intento fallido de sincronización, o bien ocurre una falsa alarma o un falso negativo, la probabilidad de error de sincronización de trama, FSE, se obtiene según la suma de ambas probabilidades

$$P_{FSE} = \bar{P}_{fa} + P_{md} \text{ (ecuación 18)}$$

10 Los métodos propuestos han sido validados a través de simulaciones numéricas en un ordenador en un enlace de comunicación en el espacio para el *uplink*, los cuáles muestran ganancias significativas comparadas a soluciones actuales.

15 A continuación, se especifican los parámetros utilizados en el ejemplo para un sistema de telecomando en el espacio en el *uplink*, siendo el aspecto más importante la longitud (N) del marcador de sincronización (s). El marcador de sincronización (s) se define según la notación hexadecimal según el ECSS como la palabra EB90 y tiene una longitud de $N = 16$ bits. Para la secuencia de adquisición (a), en el ejemplo, se asume la longitud (A) de un valor $A = 512$.

La Figura 4 muestra las probabilidades de falso negativo, falsa alarma y error de sincronización de trama en función del umbral de detección para la correlación “soft” (SC) y las métricas LRT-A con una longitud de la ventana de observación extendida $M = 24$. En la

25 Figura 4, las probabilidades de falsa alarma y falso negativo, denotadas por \bar{P}_{fa} y P_{md} respectivamente, así como el error de sincronización de trama resultante –FSE–probabilidad P_{FSE} , se han trazado en función del umbral de decisión λ para dos métricas en $E_s/N_0 = 0 \text{ dB}$. A partir de la definición de la LRT estándar, está claro que la probabilidad de falsa alarma \bar{P}_{fa} es una función decreciente en función del umbral λ , mientras que la

30 probabilidad falso negativo P_{md} es creciente. El parámetro de interés, sin embargo, es el FSE, el cuál simplifica el problema de encontrar el umbral óptimo a un simple problema de minimización en una dimensión que puede ser resuelto numéricamente por simulación.

La Figura 5 muestra los valores del error de sincronización de trama (FSE) para una SNR fija, por ejemplo, $E_s/N_0 = 0$, y para cada métrica considerada aquí: correlaciones “hard” y “soft”, la métrica Massey-Chiani y LRT-A para diferentes longitudes (M) de la ventana extendida, así como el FSE, se han trazado en función del umbral de detección λ . A partir de estos diagramas, se puede encontrar el umbral óptimo para cada una de las métricas para una SNR dada. Estos valores del umbral de decisión óptimo λ para FSE mínimo se han listado en la Tabla 2 para las cuatro métricas y varios valores de SNR, en términos de la relación energía de símbolo a la densidad espectral de potencia de ruido (E_s/N_0).

Tabla 2

E_s/N_0	Correlación Hard	Correlación Soft	Massey-Chiani	LRT-A
-3 dB	6	9	5	6
-2 dB	6	8	4	6
-1 dB	6	7	4	6
0 dB	6	7	4	6
1 dB	6	6	3	6
2 dB	6	6	2	6
3 dB	6	6	1	6
4 dB	6	6	0	6

A partir de la Figura 5 y la Tabla 2, se puede derivar que, al menos en este rango, solo las métricas SC y MC dependen de la SNR, mientras que para la HC y la LRT-A se puede aplicar el mismo umbral para todos los valores de SNR. Este aspecto es importante en receptores prácticos donde frecuentemente una estimación precisa de la SNR no está disponible.

La Figura 6 muestra el error de sincronización de trama (FSE) conseguido según diferentes valores de SNR y para cada métrica considerada aquí: correlaciones “hard” (HC) y “soft” (SC), la métrica Massey-Chiani y LRT-A para diferentes longitudes (M) de la ventana deslizante extendida, así como se ha trazado el FSE en función de la relación energía de símbolo a densidad espectral de potencia de ruido (E_s/N_0). Podemos observar que, mientras que la correlación “soft” obtiene un rendimiento muy pobre, a alta SNR, la métrica de correlación “hard” se acerca al resultado obtenido con la métrica basada en la ventana de Massey-Chiani (MC). También se observa que la métrica propuesta LRT-A, consigue una mejora considerable en el rendimiento en todo el rango de valores de SNR, incluso sin extender la longitud de la ventana. Esta ganancia viene de aprovechar la estructura de la secuencia de adquisición, particularmente en el caso de datos mixtos. El rendimiento mejora

ligeramente al extender la ventana de observación de 16 a 24 bits, mientras que una extensión adicional de hasta 128 bits no conlleva mayor mejora del rendimiento.

5 En una realización alternativa, el método propuesto para la sincronización de trama utiliza, uno o múltiples detecciones de pico utilizando una ventana de observación larga, es decir, un búfer de longitud $B \gg N$, donde N es la longitud del marcador de sincronización (s).

10 Para detección de pico individual o múltiple basada en la ventana de observación larga, una suposición adicional respecto a la estructura de trama es que el marcador de sincronización (s) lo sigue uno o múltiples palabras de código (codewords en inglés) (c_1, c_2, \dots) según se muestra en la Figura 7. El flujo entrante de símbolos se divide en secuencias solapadas (b_1, b_2, \dots) de longitud $B \gg N$, las cuáles se guardan en medios de almacenamiento del receptor en las respectivas posiciones del búfer (y_1, y_2, \dots). El solapamiento (O) comprende al menos $N - 1$ símbolos, para evitar que el marcador de sincronización (s) caiga entre dos posiciones consecutivas del búfer.

15

Por otro lado, una condición que se da en muchos sistemas de comunicaciones es que en el extremo receptor, un decodificador de canal es capaz de determinar si una secuencia de N_c símbolos después del marcador de sincronización (s), corresponde a una palabra de código (la primera palabra de código). Esto se utiliza en una posible realización del invento para evitar falsas alarmas, es decir, para evitar que el marcador de sincronización declare una detección del marcador de sincronización aunque este no esté presente. En éste caso, el sincronizador de trama requiere disponer de un indicador de detección de errores. En la Figura 8 se representa un ejemplo ilustrativo de un posible diagrama de bloques del receptor. La señal de entrada (I_n) desde la etapa ADC es procesada por los medios de adquisición de señal (801) y sincronización y seguimiento (tracking en inglés) (802) del receptor (800). Entonces, la señal adquirida es demodulada y decodificada, pero para ello es necesario el sincronizador de trama (804) entre el demodulador (803) y el decodificador (805). El sincronizador de trama propuesto (804) utiliza el marcador de sincronización (s) y los indicadores de detección de error (E) por parte del receptor (805).

20

25

30

La Figura 9 ilustra el procedimiento donde se aplica detection (múltiple) de pico utilizando una ventana de observación larga determinada por la longitud del búfer B . Las posiciones del búfer (y_i) se llenan (901) con símbolos (b_1, b_2, \dots) de longitud B a partir del flujo de señal recibido (900). Entonces, las posiciones más probables (n_1, n_2, \dots, n_L) del marcador de sincronización (s), o marcador sync para abreviar, se buscan (902) en las posiciones del

35

búfer (y_i), tal y como se explica a continuación. El decodificador de canal (805) decodifica (903') los N_c símbolos que siguen al marcador de sincronización candidato. Para cada posición candidata, el decodificador de canal (805) comprueba (903) si los N_c símbolos que siguen al marcador de sincronización candidato corresponde a una palabra de código (c_1, c_2, \dots). Si este es el caso, la posición correcta ha sido encontrada (904). Si no, la siguiente posición candidata es testeada y si no encuentra ninguna palabra de código válida después de testear todas las posiciones candidatas, la búsqueda continua con el contenido del siguiente búfer.

Mientras que la detección del marcador de sincronización (s) en un solo intento (one-shot en inglés), para cada posición de la ventana (m), una métrica es comparada con un umbral, tal y como revela Chiani en "Noncoherent frame synchronization," para marcadores de sincronización (s) insertados de forma periódica con periodicidad conocida, el receptor puede buscar la métrica máximo dentro de una trama según una detección de pico individual, y entonces no hay necesidad de determinar ningún umbral tal y como revela Massey en "Optimum frame synchronization".

De todas maneras, la detección de pico incluso para un único marcador de sincronización se puede aplicar junto con el siguiente método: El flujo de entrada de símbolos se divide en ventanas de observación largas solapadas. El solapamiento es tan largo como el marcador de sincronización para evitar que éste caiga entre dos ventanas. Entonces, se aplica la detección de pico dentro de la ventana de observación larga. Esto induce inevitablemente falsas alarmas en las ventanas que no contienen el marcador de sincronización (s). Estas falsas alarmas pueden ser detectadas después de la decodificación de la primera palabra de código después del marcador de sincronización (s), siempre y cuando la probabilidad de error no detectado del código de canal sea menor que el FSE deseado. Este es un requisito adicional, que sin embargo, normalmente se satisface de todas maneras.

Se supone que la ventana de observación larga contiene $B = A + N + D \gg N$ símbolos y contiene la secuencia de adquisición (a), el marcador de sincronización (s) y los datos (d), tal y como se muestra en la Figura 1. La secuencia entera libre de ruido en el búfer de longitud B está dada por la ecuación 13, la secuencia recibida se denota según $\mathbf{y} = \mathbf{x} + \mathbf{w}$. La regla de máxima verosimilitud para determinar el índice correspondiente al primer bit del marcador de sincronización (s) viene dada por:

$$n^* = \arg \max_m \{p(\mathbf{y} | A = m)\} + 1$$

35

De forma similar a la derivación para la ventana de observación extendida, se empieza con $p(\mathbf{y} | A = m) = \frac{1}{4} \sum_{h_1, h_2} p(\mathbf{y} | A = m, h_1, h_2)$. Ya que estamos considerando el búfer entero, la probabilidad condicional de \mathbf{y} se puede factorizar como

$$\begin{aligned} p(\mathbf{y} | m, h_1, h_2) &= \prod_{n=1}^m p(y_n | h_1 a_n) \cdot \prod_{n=m+1}^{m+N} p(y_n | h_2 s_{n-m}) \cdot \prod_{n=m+N+1}^B \frac{p(y_n | -1) + p(y_n | 1)}{2} \\ &= K_B(\mathbf{y}) \cdot \exp(h_1 \tilde{\mathbf{y}}_1^m \mathbf{a}_m^T) \cdot \exp(h_2 \tilde{\mathbf{y}}_{m+1}^{m+N} \mathbf{s}^T) \cdot \prod_{n=m+N+1}^B \cosh(\tilde{y}_n) \end{aligned}$$

5 Lo cual lleva a

$$p(\mathbf{y} | A = m) = K_B \cdot \cosh(\tilde{\mathbf{y}}_1^m \mathbf{a}_m^T) \cdot \cosh(\tilde{\mathbf{y}}_{m+1}^{m+N} \mathbf{s}^T) \cdot \prod_{n=m+N+1}^B \cosh(\tilde{y}_n)$$

Y finalmente, la métrica que debe maximizarse $\Lambda_{LW}(m)$ se define como

$$\begin{aligned} \Lambda_{LW}(m) &\triangleq \ln \left(\frac{1}{K_B} p(\mathbf{y} | A = m) \right) \\ &= \ln \cosh(\tilde{\mathbf{y}}_1^m \mathbf{a}_m^T) + \ln \cosh(\tilde{\mathbf{y}}_{m+1}^{m+N} \mathbf{s}^T) \\ &\quad + \sum_{n=m+N+1}^B \ln \cosh(\tilde{y}_n) \end{aligned}$$

10 La posición más probable del primer símbolo del marcador de sincronización (s) se encuentra aplicando:

$$n^* = \arg \max_m \{ \Lambda_{LW}(m) \} + 1$$

15 En otra posible realización de la invención, se puede utilizar la detección de múltiples picos en la ventana de observación larga para la sincronización de trama. El hecho de que al marcador de sincronización (s) le siguen palabras de código puede aprovecharse, en caso de que el esquema de codificación utilizado proporcione capacidad de detección de errores suficiente y sea asequible realizar múltiples intentos de decodificación. Estas son suposiciones leves, ya que la probabilidad de error no detectado normalmente se requiere que sea significativamente menor que el FSE. Además, la tasa de bit para operaciones de telemando es típicamente moderada, permitiendo que intentos múltiples de decodificación dentro de una ventana de observación que sea como mínimo tan larga como la palabra de código, no sean poco realistas.

20

Para la detección múltiple de picos, los índices $n \in \{1, 2, \dots, B\}$ son listados en orden decreciente:

$$\Lambda_{LW}(m_1) \geq \Lambda_{LW}(m_2) \geq \dots \geq \Lambda_{LW}(m_B)$$

Y se aplica L intentos de decodificación sucesivos (successive decoding en inglés) para los
 5 índices m_1, m_2, \dots, m_L . En teoría de decodificación, esta solución es conocida como *list decoding* en inglés.

Para $L = 1$, tenemos la detección simple de pico tal y como se ha descrito anteriormente, mientras que para un valor poco realista $L = B$, el FSE está limitado sólo por la probabilidad
 10 de error no detectado del esquema de codificación de canal.

La Figura 10 muestra el FSE conseguido con detección múltiple de picos (PD) para diferentes longitudes L en list decoding. Con valores modestos de intentos de decodificación adicionales ya proporciona ganancias muy significativas en la sincronización
 15 de trama. Como referencia, la métrica Massey-Chiani (MC) también puede aplicarse, calculada en una operación de ventana deslizante y un búfer de longitud $B=64$, pero esta métrica MC sufre de un error de efecto suelo (error floor en inglés), debido a las falsas alarmas, las cuáles son inevitables si el marcador de sincronización de 16 bits aparece en los datos.

20 Las materializaciones propuestas pueden ser implementadas como una colección de elementos de software, elementos hardware, elementos firmware, o cualquier combinación adecuada de ellos.

25 Observe que en este texto, el término “comprende” y sus derivaciones (como “comprendiendo”, etc.) no debería ser entendido en un sentido exclusivo, es decir, estos términos no deberían ser interpretados como excluyendo la posibilidad de que lo que está descrito y definido pueda incluir elementos, etapas, etc, adicionales.

30

REIVINDICACIONES

1. Un método para la sincronización de trama en un sistema de comunicaciones, el método comprendiendo:

- 5
- recibir una trama la cual comprende una secuencia de datos (d), un marcador de sincronización (s) que precede la secuencia de datos (d) y una secuencia de adquisición (a) precediendo al marcador de sincronización (s);

y el método caracterizado por que comprende además:

- 10
- buscar el marcador de sincronización (s) utilizando la secuencia de adquisición (a).

2. El método de acuerdo con la reivindicación 1, donde el marcador de sincronización (s) tiene una longitud (N) y la búsqueda del marcador de sincronización (s) además comprende el uso de una ventana de observación deslizante (x_m) con una longitud extendida (M), siendo $M \geq N$.

15

3. El método de acuerdo a la reivindicación 2, donde la trama se transmite en una señal de acuerdo a una constelación J-PSK, con $J \geq 2$.

20

4. El método de acuerdo a las reivindicaciones 2-3, que además comprende el cálculo de una métrica test de la razón de verosimilitudes de la secuencia de adquisición (a), LRT-A, la cual se compara con un umbral predefinido para determinar si la secuencia recibida en la ventana de observación deslizante (x_m) es el marcador de sincronización (s), la métrica de test de la razón de verosimilitudes de la secuencia de adquisición (a), denominada como $\Lambda_{LRT-A}(\mathbf{r})$, se calcula como

25

$$\Lambda_{LRT-A}(\mathbf{r}) = \text{Incosh}\left(\tilde{\mathbf{r}}_1^{M-N} \mathbf{a}_{M-N}^T\right) + \text{Incosh}\left(\tilde{\mathbf{r}}_{M-N+1}^M \mathbf{s}^T\right) - \ln \sum_{m=1}^N \rho_m \cosh\left(\tilde{\mathbf{r}}_1^{M-m+1} \mathbf{a}_{M-m+1}^T\right) \cdot \cosh\left(\tilde{\mathbf{r}}_{M-m+2}^M \mathbf{s}_{m-1}^T\right)$$

donde el marcador de sincronización (s), $\mathbf{s} = [s_1, s_2, \dots, s_N]$, N denota la longitud del marcador de sincronización (s), la secuencia recibida en la ventana de observación deslizante (x_m) se denota con un vector $\mathbf{r}, \mathbf{r} = [r_1, r_2, \dots, r_N]$, y la secuencia de adquisición se denota con un vector \mathbf{a} .

30

5. El método de acuerdo a la reivindicación 1, donde el marcador de sincronización (s) tiene una longitud (N) y la búsqueda del marcador de sincronización (s) comprende además encontrar la posición más probable del primer símbolo del marcador de sincronización (s) detectando al menos un pico en una secuencia de símbolos dentro de la trama recibida, siendo la secuencia recibida en un búfer de longitud B, siendo B > N.

6. El método de acuerdo a la reivindicación 5, donde la detección de un pico de la secuencia recibida en el búfer comprende el cálculo de una métrica $\Lambda_{LW}(m)$, según

$$\Lambda_{LW}(m) = \ln \cosh(\tilde{y}_1^m \mathbf{a}_m^T) + \ln \cosh(\tilde{y}_{m+1}^{m+N} \mathbf{s}^T) + \sum_{n=m+N+1}^B \ln \cosh(\tilde{y}_n)$$

donde la secuencia recibida en el búfer se denomina $\mathbf{y}=[y_1, y_2, \dots, y_B]$, el marcador de sincronización (s) se denomina $\mathbf{s} = [s_1, s_2, \dots, s_N]$, la secuencia de adquisición (a) se denomina $\mathbf{a} = [a_1, a_2, \dots, a_A]$, y m indica una posición del primer símbolo del marcador de sincronización (s);

y donde encontrar la posición más probable del primer símbolo del marcador de sincronización (s) comprende la maximización de la métrica calculada.

7. El método de acuerdo a la reivindicación 6, comprendiendo además listar en orden decreciente la métrica calculada $\Lambda_{LW}(m)$ para todos los posibles valores de m pertenecientes a un conjunto de índices $n \in \{1, 2, \dots, B\}$ para obtener una lista, $\Lambda_{LW}(m_1) \geq \Lambda_{LW}(m_2) \geq \dots \geq \Lambda_{LW}(m_B)$ y aplicar decodificación ordenada sobre la lista.

8. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 5-7, comprendiendo además la decodificación de un conjunto de símbolos pertenecientes a la secuencia recibida en el búfer y la aplicación de detección de errores a los símbolos decodificados para evitar falsas detecciones del marcador de sincronización (s).

9. El método de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde la secuencia de adquisición (a) es seleccionada a partir de una secuencia de símbolos binarios alternados, una secuencia de ceros y una secuencia de valores constantes.

10. Un dispositivo sincronizador de trama (804) para ser incorporado en un receptor (800)

de un sistema de comunicación, el receptor (800) recibiendo una trama la cual comprende una secuencia de datos (d), un marcador de sincronización (s) que precede la secuencia de datos (d) y una secuencia de adquisición (a) que precede al marcador de sincronización (s);

5 y el dispositivo (804) estando **caracterizado por** comprender además:

- un circuito de búsqueda configurado para buscar el marcador de sincronización (s) usando la secuencia de adquisición (a).

10 11. El dispositivo (804) de acuerdo con la reivindicación 10, donde el circuito de búsqueda se configura para utilizar una ventana de observación deslizante (x_m) de longitud extendida (M) siendo $M \geq N$, N denota la longitud del marcador de sincronización (s).

15 12. El dispositivo (804) de acuerdo con la reivindicación 11, comprendiendo además medios de cálculo configurados para calcular una métrica test de la razón de verosimilitudes de la secuencia de adquisición (a), LRT-A, la cual se compara con un umbral predefinido para determinar si la secuencia recibida en la ventana de observación deslizante (x_m) es el marcador de sincronización (s), siendo la métrica test de la razón de verosimilitudes de la secuencia de adquisición (a), denominada por $\Lambda_{LRT-A}(\mathbf{r})$, calculada como:

$$\Lambda_{LRT-A}(\mathbf{r}) = \text{Incosh}\left(\tilde{\mathbf{r}}_1^{M-N} \mathbf{a}_{M-N}^T\right) + \text{Incosh}\left(\tilde{\mathbf{r}}_{M-N+1}^M \mathbf{s}^T\right) - \ln \sum_{m=1}^N \rho_m \cosh\left(\tilde{\mathbf{r}}_1^{M-m+1} \mathbf{a}_{M-m+1}^T\right) \cdot \cosh\left(\tilde{\mathbf{r}}_{M-m+2}^M \mathbf{s}_{m-1}^T\right)$$

20 donde el marcador de sincronización (s), $\mathbf{s} = [s_1, s_2, \dots, s_N]$, N denota la longitud del marcador de sincronización (s), r, $\mathbf{r} = [r_1, r_2, \dots, r_N]$ denota la secuencia recibida en la ventana de observación deslizante (x_m), y la secuencia de adquisición (a), $\mathbf{a} = [a_1, a_2, \dots, a_A]$, donde A denota la longitud de la secuencia de adquisición (a).

25 13. El dispositivo (804) de acuerdo con la reivindicación 10, donde el circuito de búsqueda comprende un búfer de longitud B, siendo $B > N$, y el circuito de búsqueda aplica un detector de pico a una secuencia de símbolos recibidos, que se reciben en el búfer, para encontrar la posición más probable del primer símbolo del marcador de sincronización (s) e indicadores de detección de errores (E) de un decodificador (805) del receptor (800) para evitar falsas detecciones del marcador de sincronización (s).

30

14. El dispositivo (804) de acuerdo con la reivindicación 13, donde el detector de pico comprende los medios de cálculo para calcular una métrica $\Lambda_{LW}(m)$ según

$$\Lambda_{LW}(m) = \ln \cosh (\tilde{y}_1^m \mathbf{a}_m^T) + \ln \cosh (\tilde{y}_{m+1}^{m+N} \mathbf{s}^T) + \sum_{n=m+N+1}^B \ln \cosh (\tilde{y}_n)$$

donde la secuencia recibida en el búfer se denomina $y = [y_1, y_2, \dots, y_B]$, $\mathbf{s} = [s_1, s_2, \dots, s_N]$ denota el marcador de sincronización (s), $\mathbf{a} = [a_1, a_2, \dots, a_A]$ denota la secuencia de adquisición (a) y m denota una posición del primer símbolo del marcador de sincronización;

y el detector de pico encuentra la posición más probable del marcador de sincronización (s) maximizando la métrica calculada.

15. El dispositivo (804) de acuerdo con la reivindicación 14, comprendiendo además un decodificador de lista ordenada aplicado a una lista de valores de la métrica calculada $\Lambda_{LW}(m)$, obtenida en orden decreciente para toda posible posición m del conjunto de índices $n \in \{1, 2, \dots, B\}$.

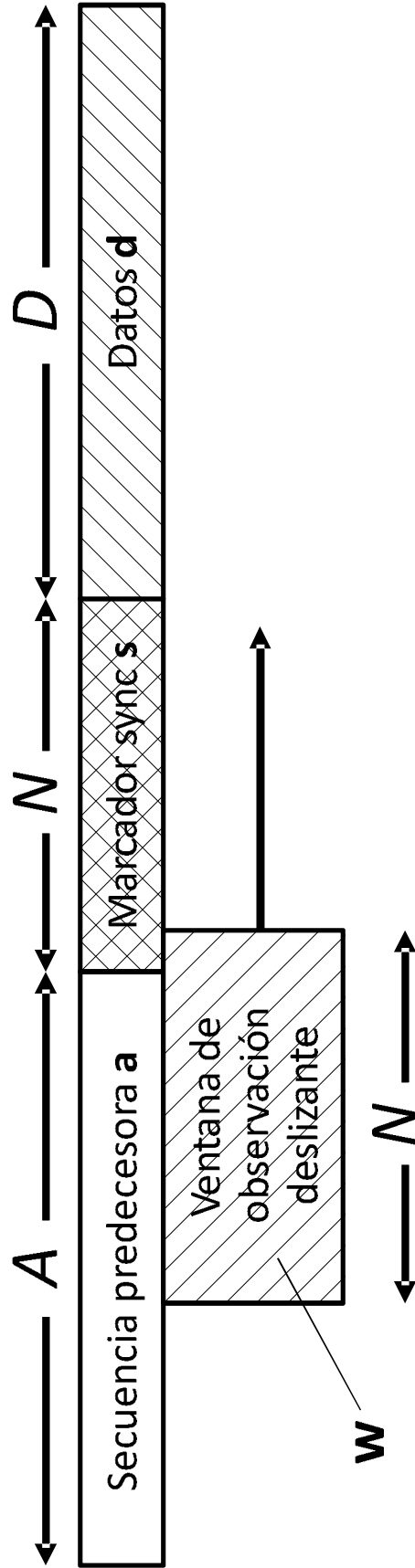


FIG. 1
(ARTE PREVIO)

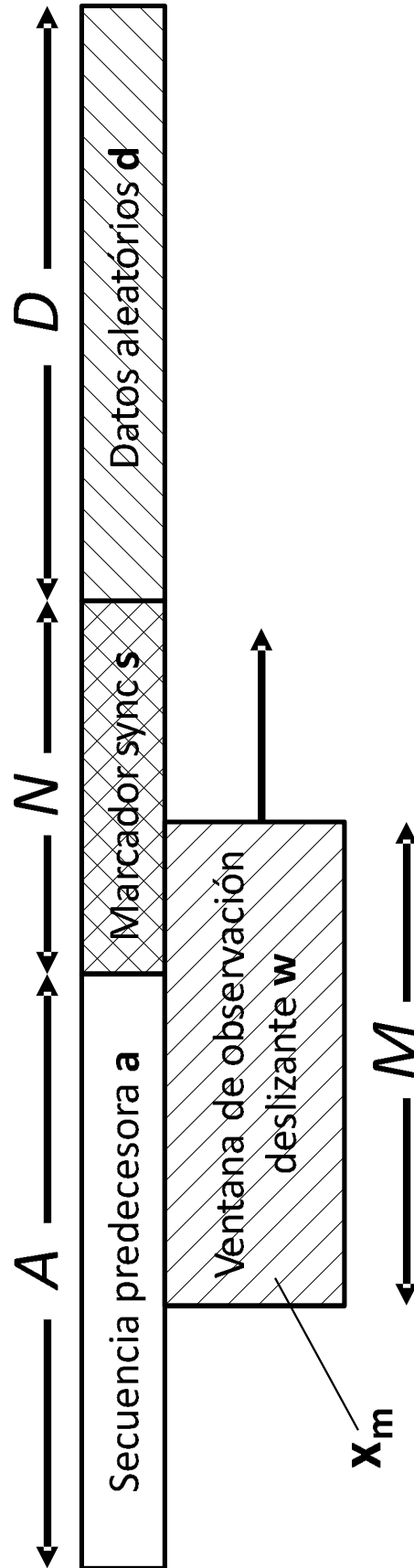


FIG. 2

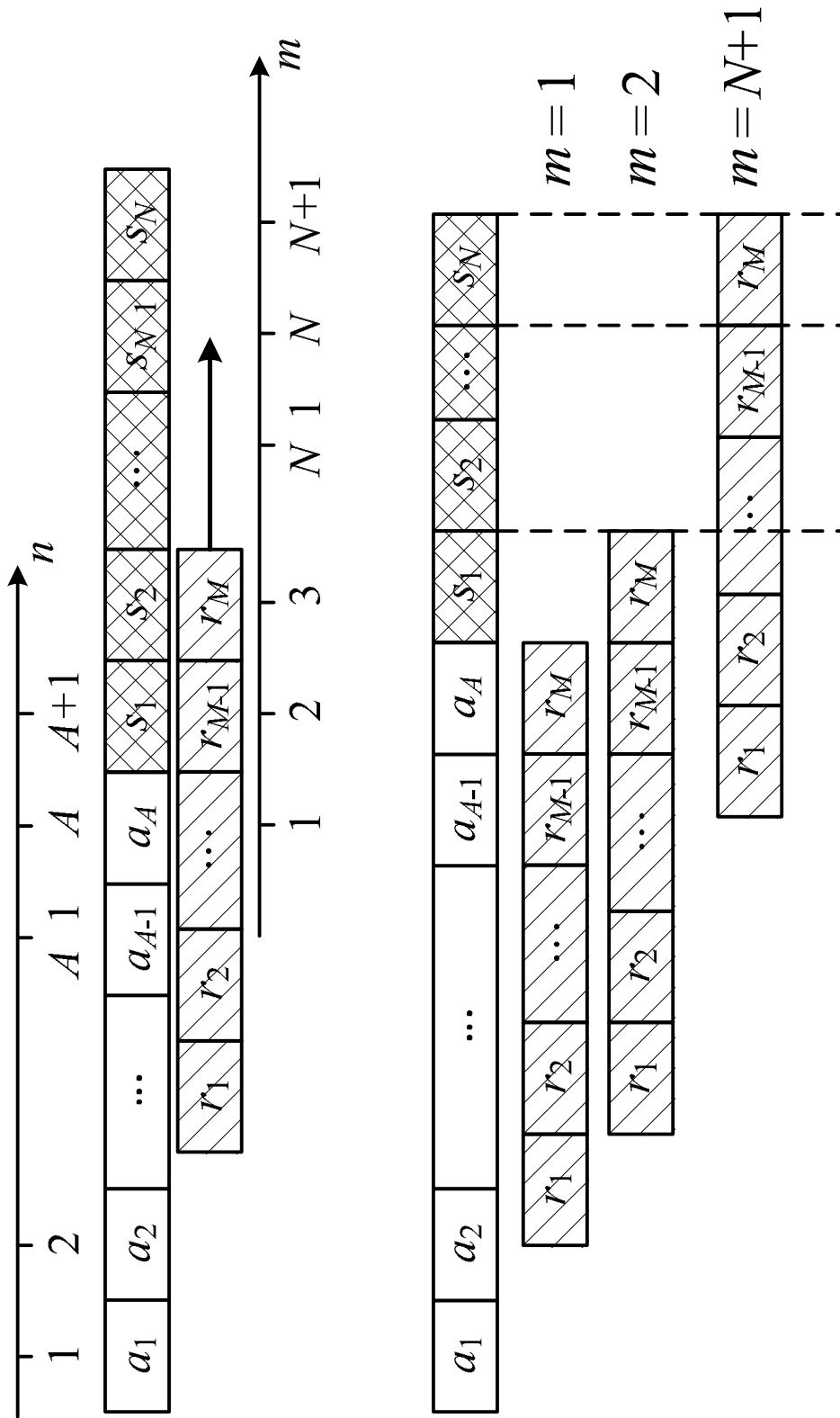


FIG. 3

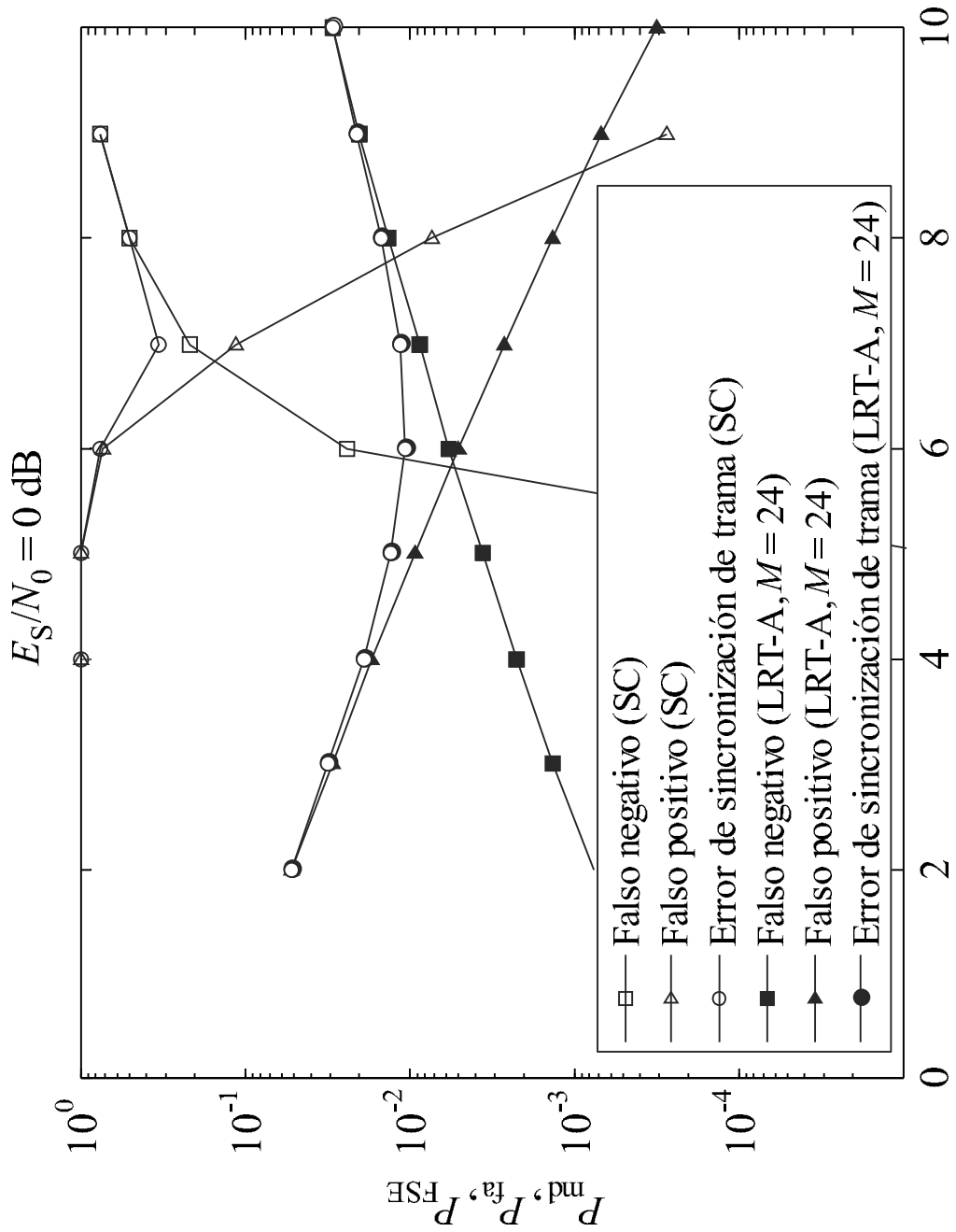


FIG. 4

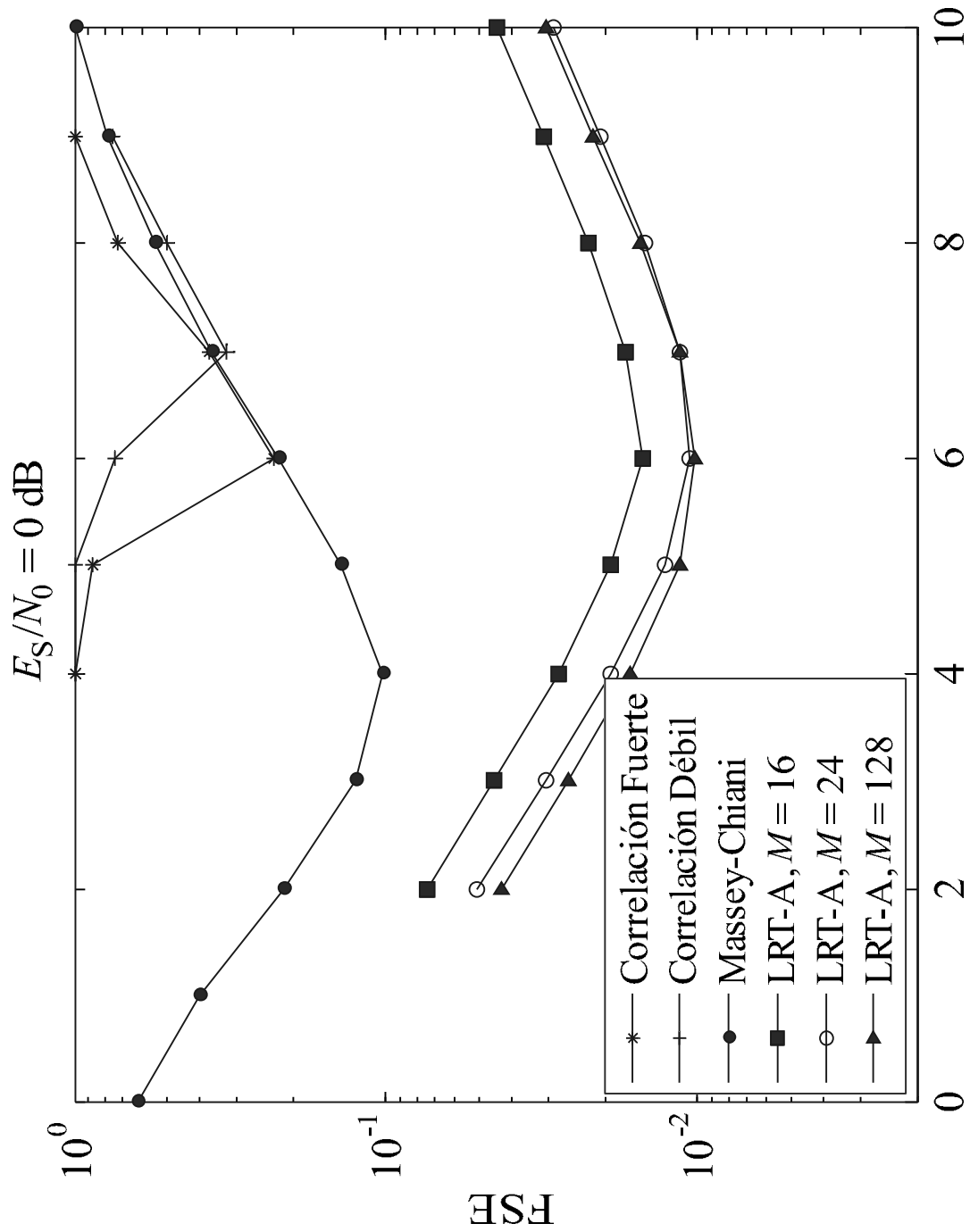


FIG. 5

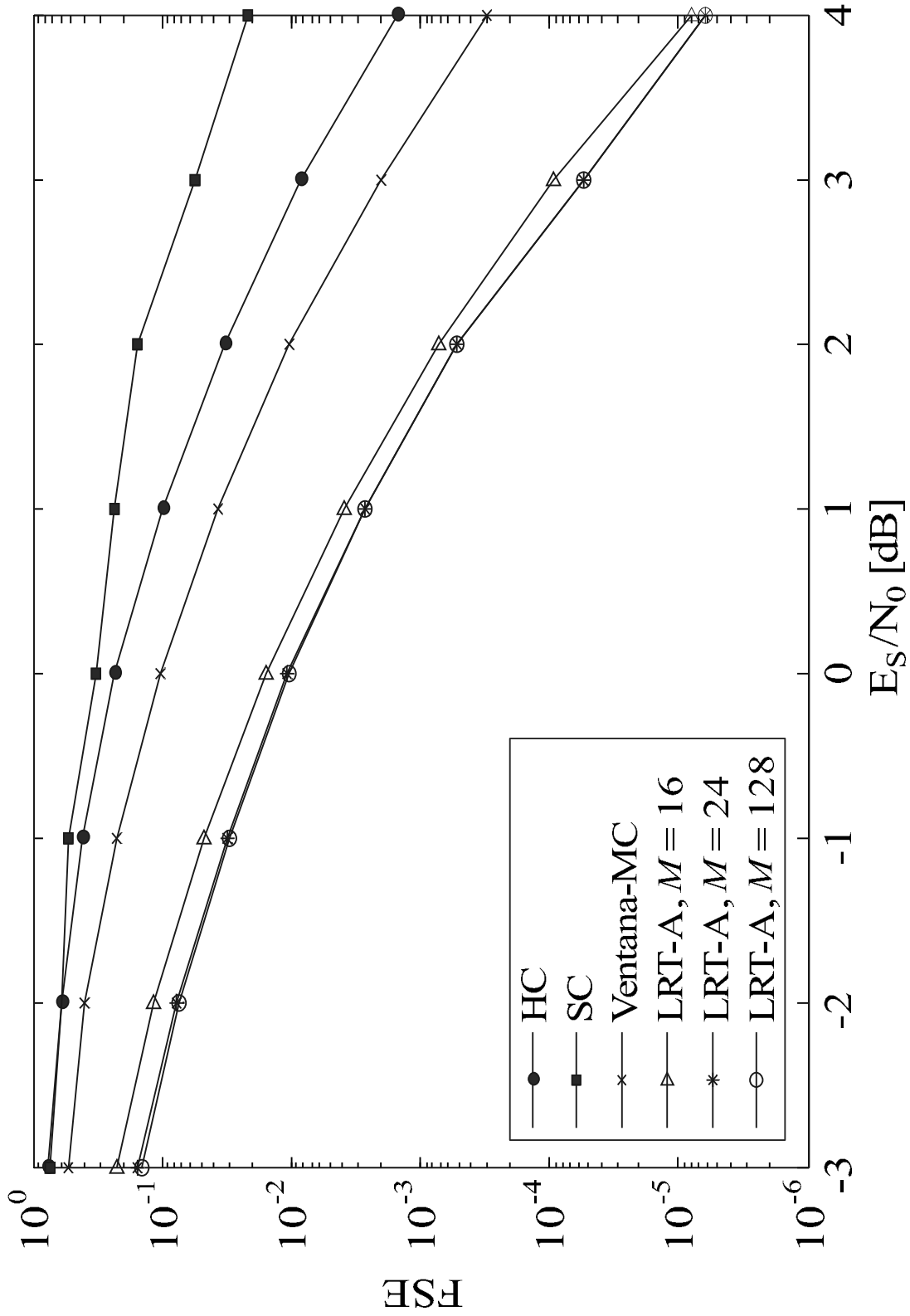


FIG. 6

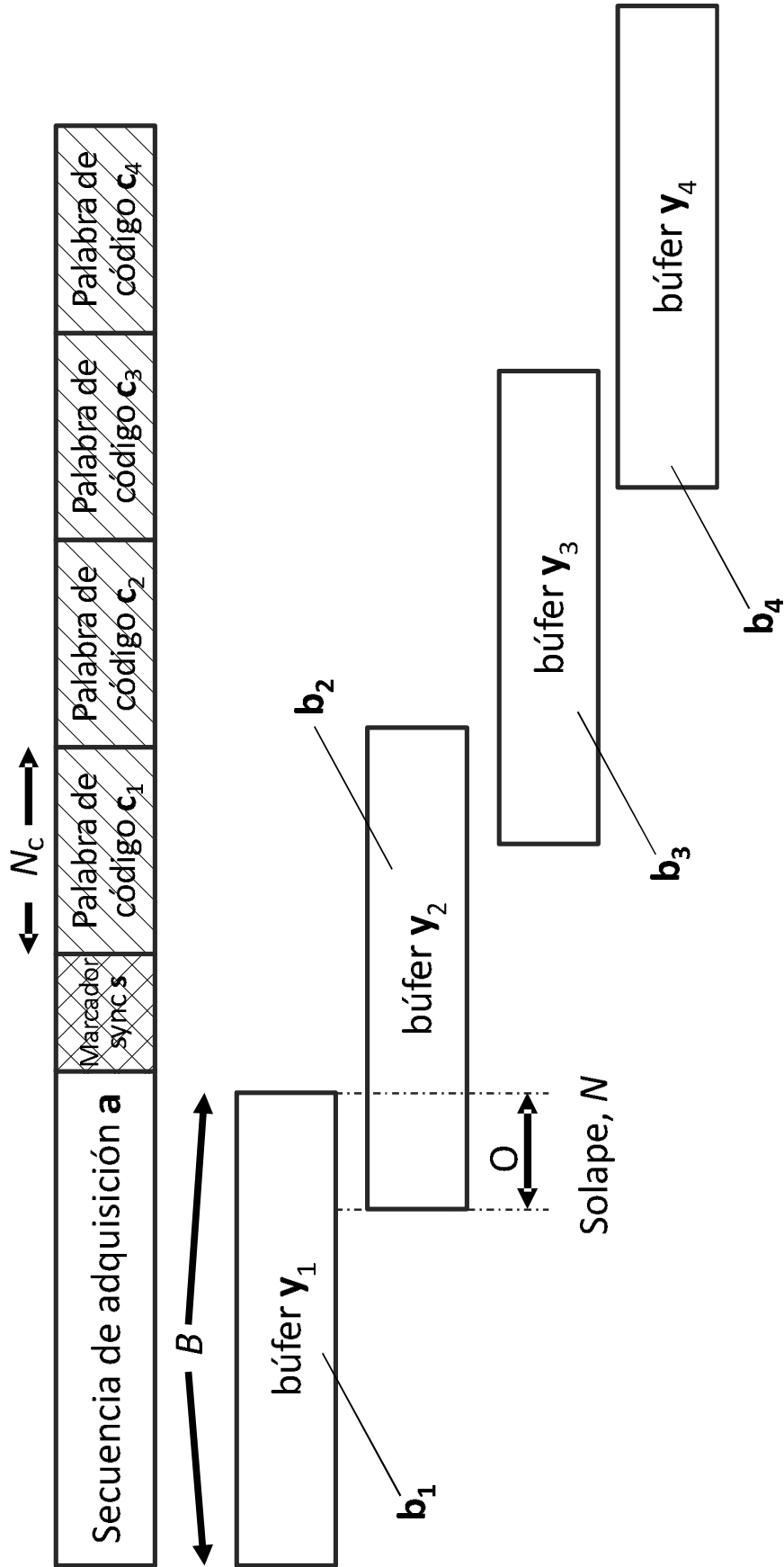


FIG. 7

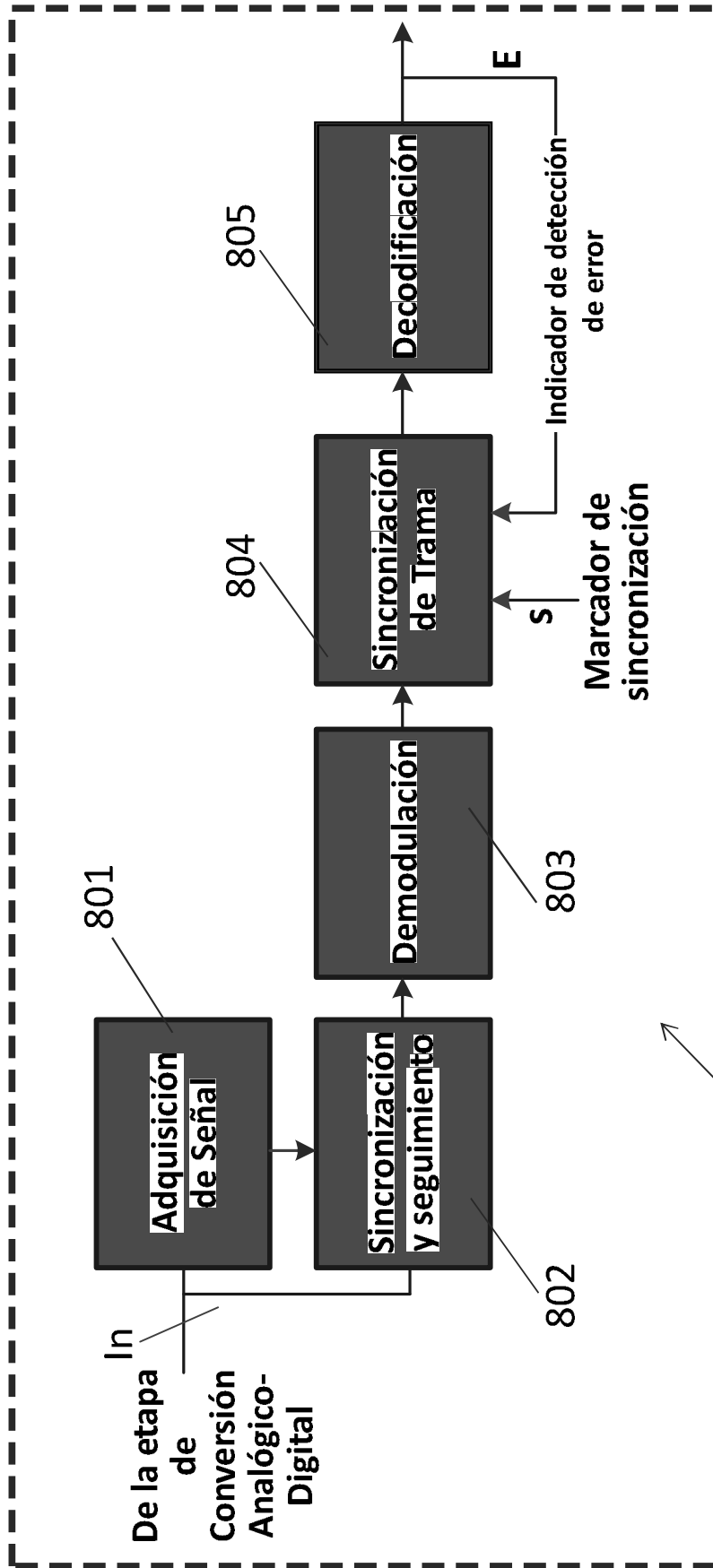


FIG. 8

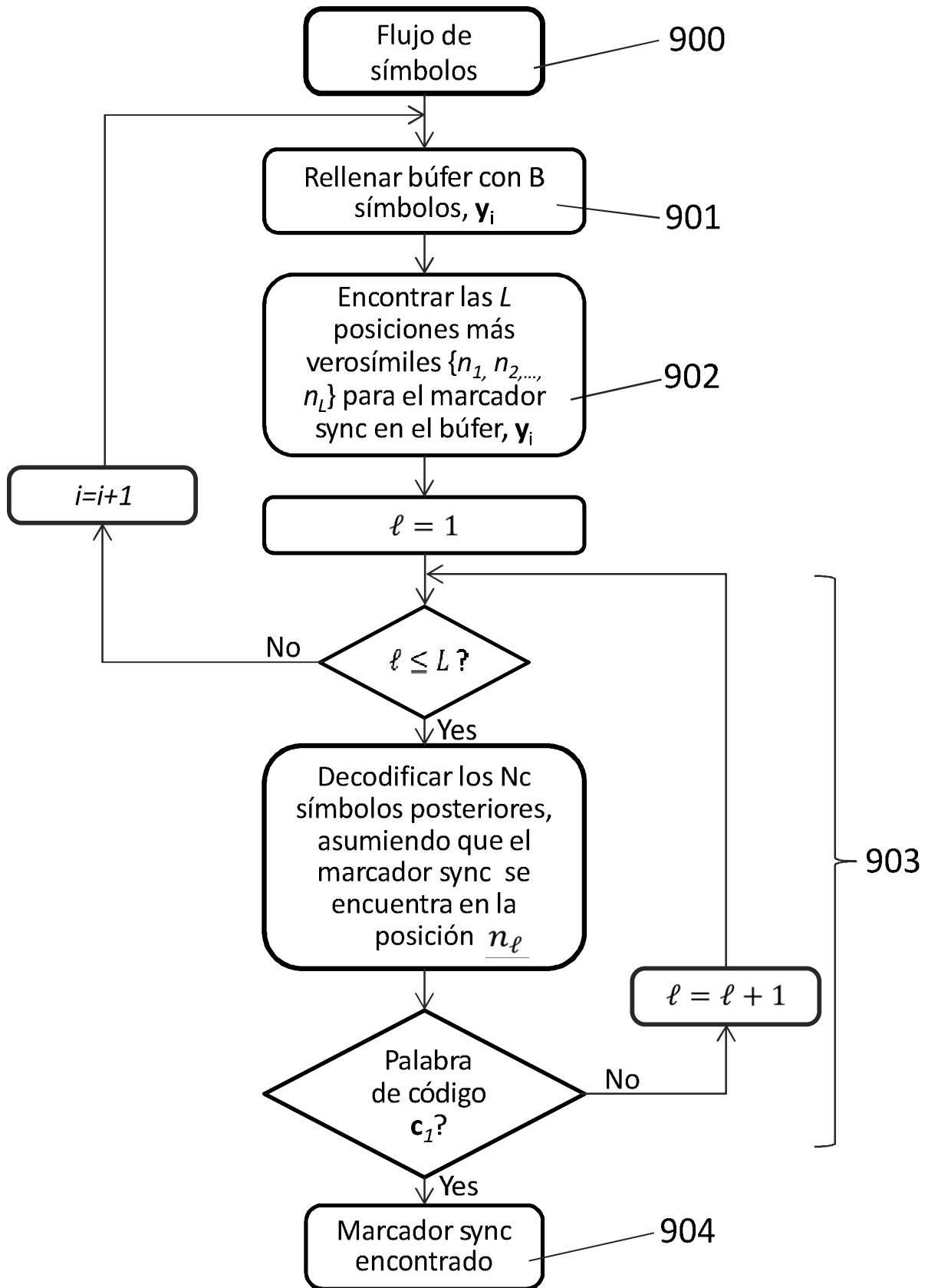


FIG. 9

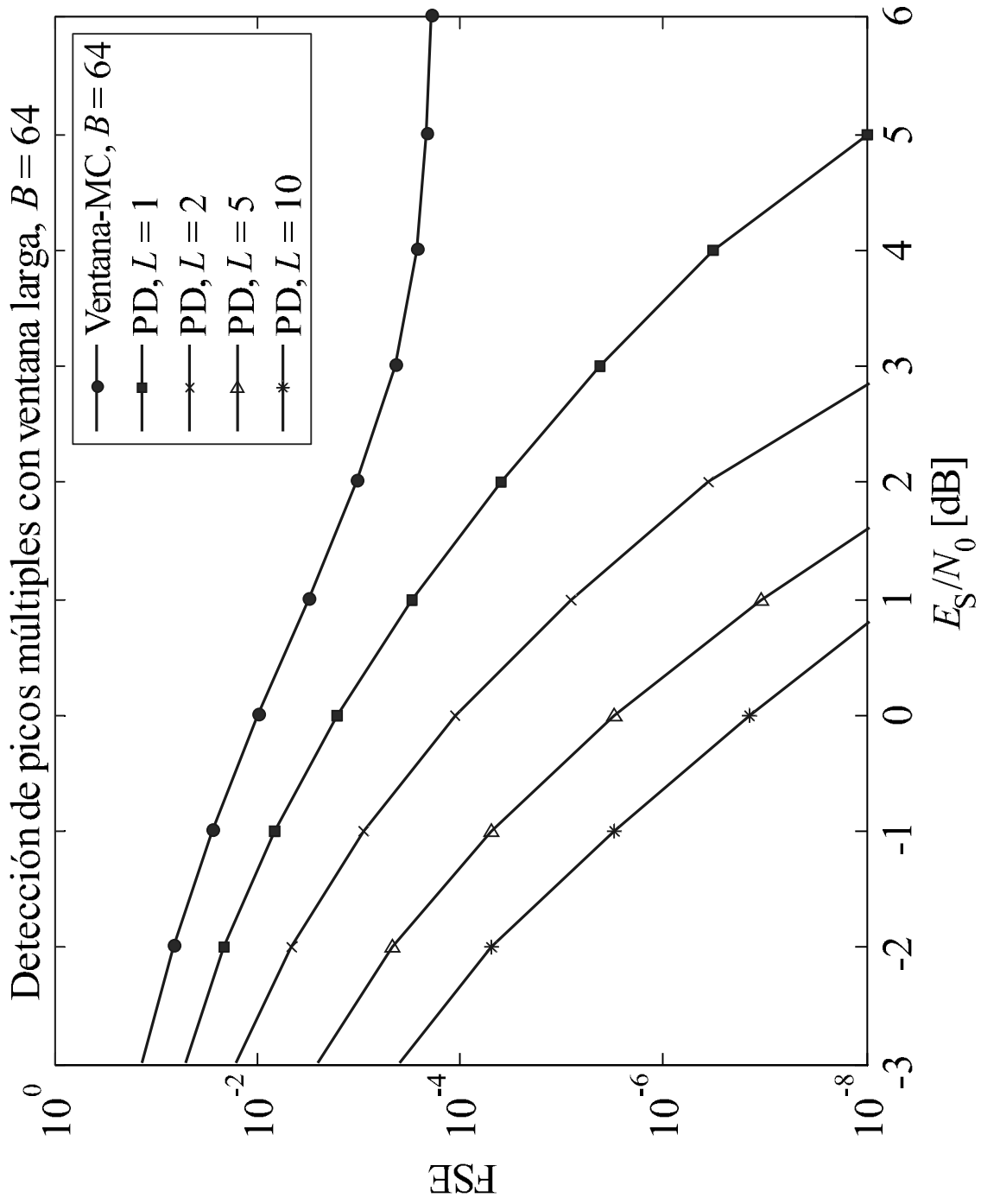


FIG. 10



- ②① N.º solicitud: 201530789
②② Fecha de presentación de la solicitud: 05.06.2015
③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤① Int. Cl.: **H04L7/00** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	ZHIHUA YANG et al. Joint Method of Ultra Wideband Packet Acquisition Based on Energy Detection. Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2009. WiCom '09. 5th International Conference on, 20090924 IEEE, Piscataway, NJ, USA 24/09/2009 VOL: Pags: 1 - 5 ISBN 978-1-4244-3692-7; ISBN 1-4244-3692-3. Todo el documento.	1, 10
Y		2-3, 5, 8-9, 11, 13
A		4, 6, 12, 14-15
Y	MARCO CHIARI Noncoherent Frame Synchronization. IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, 20100501 IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, USA 01/05/2010 VOL: 58 No: 5 Paginas: 1536 - 1545 ISSN 0090-6778 Doi: doi:10.1109/TCOMM.2010.05.090091. Todo el documento.	2-3, 5, 8-9, 11, 13
A	EPPERLY M E et al. FPGA CCSDS command decoder with BCH EDAC and level-0 command execution. Aerospace Conference Proceedings, 2002. IEEE Mar 9-16, 2002, 20020309; 20020309 - 20020316 Piscataway, NJ, USA, IEEE 09/03/2002 VOL: 4 Pags: 1909 - 1916 ISBN 978-0-7803-7231-3; ISBN 0-7803-7231-X. Todo el documento.	1-15
A	US 7298696 B1 (WU WILLIAM W) 20/11/2007. Todo el documento.	1-15

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia
Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría
A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita
P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud
E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe
26.09.2016

Examinador
M. Muñoz Sanchez

Página
1/6



- ②¹ N.º solicitud: 201530789
②² Fecha de presentación de la solicitud: 05.06.2015
③² Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤¹ Int. Cl.: **H04L7/00** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤ ⁶ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	MARCO CHIANI et al. Optimum synchronization of ternary preamble sequences in Gaussian noise. Wireless Pervasive Computing (ISWPC), 2010 5th IEEE International Symposium on, 20100505 IEEE, Piscataway, NJ, USA 05/05/2010 VOL: Paginas: 146 - 150 ISBN 978-1-4244-6855-3 ; ISBN 1-4244-6855-8. Todo el documento.	1-15

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe
26.09.2016

Examinador
M. Muñoz Sanchez

Página
2/6

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

H04L

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI, NPL, XPIEE, XPI3E

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 26.09.2016

Declaración

Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones 2-9, 11-15	SI
	Reivindicaciones 1,10	NO
Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)	Reivindicaciones 4,6, 12, 14-15	SI
	Reivindicaciones 2-3, 5, 8-9, 11, 13	NO

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

Base de la Opinión.-

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

1. Documentos considerados.-

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	ZHIHUA YANG et al. Joint Method of Ultra Wideband Packet Acquisition Based on Energy Detection. Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2009. WiCom '09. 5th International Conference on, 20090924 IEEE, Piscataway, NJ, USA 24/09/2009 VOL: Pags: 1 - 5 ISBN 978-1-4244-3692-7 ; ISBN 1-4244-3692-3	24.09.2009
D02	MARCO CHIARI Noncoherent Frame Synchronization. IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, 20100501 IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ. USA 01/05/2010 VOL: 58 No: 5 Paginas: 1536 - 1545 ISSN 0090-6778 Doi: doi:10.1109/TCOMM.2010.05.090091	01.05.2010
D03	EPPERLY M E et al. FPGA CCSDS command decoder with BCH EDAC and level-0 command execution. Aerospace Conference Proceedings, 2002. IEEE Mar 9-16, 2002, 20020309; 20020309 - 20020316 Piscataway, NJ, USA, IEEE 09/03/2002 VOL: 4 Pags: 1909 - 1916 ISBN 978-0-7803-7231-3 ; ISBN 0-7803-7231-X	09.03.2002
D04	US 7298696 B1 (WU WILLIAM W)	20.11.2007
D05	MARCO CHIARI et al. Optimum synchronization of ternary preamble sequences in Gaussian noise. Wireless Pervasive Computing (ISWPC), 2010 5th IEEE International Symposium on, 20100505 IEEE, Piscataway, NJ, USA 05/05/2010 VOL: Pags: 146 - 150 ISBN 978-1-4244-6855-3 ; ISBN 1-4244-6855-8	05.05.2010

2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración

Se considera D01 el documento más próximo del estado de la técnica al objeto de la solicitud.

Reivindicaciones independientes

Reivindicación 1: El documento D01 divulga un sistema de adquisición y sincronización de tramas en el que se combina la detección (se utiliza) de la secuencia de adquisición y del marcador de sincronización. Además tras el marcador de sincronización sigue la secuencia de datos. Por tanto el documento D01 afecta a la novedad de la reivindicación 1 según el art. 6.1 de la Ley de Patentes.

Reivindicación 10: en paralelo con el análisis de la reivindicación 1 se concluye que el documento D01 afecta a la novedad de la reivindicación 10 según el art. 6.1 de la Ley de Patentes.

Reivindicaciones dependientes

Reivindicaciones 2 y 3: el contenido de estas reivindicaciones incluye extensiones/ alternativas no contempladas en el documento D01 que generalizan el método divulgado. En el documento D02, también del mismo campo técnico que el documento D01, incluye las características de las reivindicaciones 2 y 3, los casos $M=N$ y $J=2$; siendo el resto de casos una extensión/ alternativa evidente para el experto en la materia. Por tanto, un experto en la materia se vería orientado a combinar ambos documentos D01 y D02 para incorporar la generalización que suponen estas dos reivindicaciones. En conclusión la combinación de los documentos D01 y D02 afecta a la actividad inventiva de las reivindicaciones 2 y 3 según el art. 8.1 de la Ley de Patentes.

Reivindicación 4: la optimización en la detección introducida por la métrica de test no aparece en los documentos D01 ni D02. Tampoco aparece en ninguno de los documentos del mismo campo técnico D03, D04 ni D05. Por tanto, la reivindicación 4 posee actividad inventiva según el art. 8.1 de la Ley de Patentes.

Reivindicación 5: la detección de pico es comúnmente conocida en el procesamiento de secuencias de símbolos o tramas y, por tanto, evidente para el experto en la materia. Así, la combinación de los documentos D01 y D02 afecta a la actividad inventiva de la reivindicación 5 según el art. 8.1 de la Ley de Patentes.

Reivindicación 6: la optimización en la detección introducida en la detección de pico no aparece en los documentos D01 ni D02. Tampoco aparece en ninguno de los documentos del mismo campo técnico D03, D04 ni D05. Por tanto, la reivindicación 6 posee actividad inventiva según el art. 8.1 de la Ley de Patentes.

Reivindicación 7: la reivindicación 7 posee actividad inventiva según el art. 8.1 de la Ley de Patentes por depender de la reivindicación 6 que también la posee.

Reivindicaciones 8, 9: la aplicación de detección de errores y los tipos de secuencias de adquisición son comúnmente conocidos en el procesamiento de secuencias de símbolos o tramas y, por tanto, evidente para el experto en la materia. Así, la combinación de los documentos D01 y D02 afecta a la actividad inventiva de las reivindicaciones 8 y 9 según el art. 8.1 de la Ley de Patentes.

Reivindicación 11: en paralelo con el análisis de la reivindicación 2 se concluye que el documento D01 afecta a la actividad inventiva de la reivindicación 11 según el art. 8.1 de la Ley de Patentes.

Reivindicación 12: en paralelo con el análisis de la reivindicación 4 se concluye que la reivindicación 12 posee actividad inventiva según el art. 8.1 de la Ley de Patentes.

Reivindicación 13: en paralelo con el análisis de la reivindicación 5 se concluye que la combinación de los documentos D01 y D02 afecta a la actividad inventiva de la reivindicación 13 según el art. 8.1 de la Ley de Patentes.

Reivindicaciones 14, 15: en paralelo con el análisis de las reivindicaciones 6 y 7 se concluye que las reivindicaciones 14 y 15 poseen actividad inventiva según el art. 8.1 de la Ley de Patentes.