



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 278 769**

51 Int. Cl.:
H04L 27/233 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **01957884 .8**

86 Fecha de presentación : **25.06.2001**

87 Número de publicación de la solicitud: **1249116**

87 Fecha de publicación de la solicitud: **16.10.2002**

54 Título: **Detección y corrección de saltos de fase dentro de una secuencia de fases.**

30 Prioridad: **27.06.2000 FR 00 08268**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.08.2007

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.08.2007

73 Titular/es: **Koninklijke Philips Electronics N.V.**
Groenewoudseweg 1
5621 BA Eindhoven, NL

72 Inventor/es: **Legrand, Delphine;**
Brajal, Americo y
Chouly, Antoine

74 Agente: **Zuazo Araluze, Alexander**

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

Detección y corrección de saltos de fase dentro de una secuencia de fases.

5 **Campo de la invención**

La invención se refiere a un sistema de comunicación que comprende al menos un transmisor y un receptor destinados a recibir símbolos procedentes de una modulación PSK, y que comprende medios de estimación para estimar un error de frecuencia relacionado con un símbolo basándose en una secuencia de fases de símbolos. La invención también se refiere a un receptor destinado a utilizarse en un sistema de comunicación de este tipo.

La invención también se refiere a un método para detectar y corregir saltos de fase en una secuencia de fases inicial de símbolos procedentes de una modulación PSK.

Finalmente, la invención se refiere a un producto de programa informático que comprende instrucciones para implementar un método de este tipo.

Antecedentes de la invención

Se describe tal algoritmo de estimación de un error de frecuencia relacionado con un símbolo basándose en una secuencia de fases recibido en, por ejemplo, el párrafo 4.1 (página 107) del artículo "Feedforward Frequency Estimation for PSK: a Tutorial Review" (Estimación de frecuencia de alimentación anticipada) de M. Morelli y U. Mengali, publicado en la revista "European Transactions on Telecommunications, vol. 9, nº 2, marzo-abril 1998". Este algoritmo se conoce con el nombre de algoritmo de Tretter, o método de mínimos cuadrados.

Para obtener una secuencia de fases de este tipo, se sabe que se usa un algoritmo de estimación de fase, que estima la fase relacionada con un símbolo basándose en decisiones tomadas sobre varios símbolos recibidos. Por ejemplo, se usa el algoritmo de maximización de la esperanza, que se describe en el párrafo 3.3 del informe de la conferencia de la "International Conference on Communications, Nueva Orleans, EE.UU., 1-5 de mayo, 1994, volumen 2, páginas 940 y 945", titulada "Comparison between digital recovery techniques in the presence of frequency shift" (Comparación entre técnicas de recuperación digitales en presencia de desplazamiento de frecuencia) de F. Daffara y J. Lamour.

El problema que se plantea es el siguiente: en una modulación PSK que comprende puntos de 2^n , dos puntos adyacentes tienen una diferencia de fase de $\frac{\pi}{2^{n-1}}$. Cuando el error de frecuencia es tal que, basándose en un determinado símbolo, se comete un error en la decisión, este error se traduce mediante un salto de fase de $\pm \frac{\pi}{2^{n-1}}$ en la secuencia de estimaciones de fase obtenida. El número de saltos de fase que puede obtenerse depende del número de símbolos que contiene el paquete y la diferencia de frecuencia inicial.

Cuando la secuencia de fases, que se usan para aplicar el algoritmo de Tretter, incluye uno o varios saltos de fase, la estimación de frecuencia que se obtiene es imprecisa. En particular, el objeto de la invención es proporcionar una solución para este problema.

El documento EP 0648037 describe un método que consiste en extraer la fase de cada una de las señales complejas suprimiendo los saltos de fase desconocidos, en la búsqueda en la serie de fases obtenida para un primer intervalo de fase de longitud L definida para la que la variación de fase es lo más lineal posible, en la determinación de un segundo intervalo de fase de longitud L2 superior a L, correspondiente a una aproximación lineal más precisa, en la realización de manera iterativa de regresiones lineales usando una ventana corredera de longitud igual al del segundo intervalo de fase L2 para suprimir los saltos de fase residuales para llevar a cabo una regresión cuadrática sobre las fases restantes y para calcular una estimación global de las fases de referencia de las señales de cada bloque, y para realizar una comparación del error cuadrático medio entre las fases de referencia estimadas y las fases en bruto obtenidas mediante regresión lineal.

El documento EP 0349064 describe un método para garantizar la demodulación coherente procesando digitalmente una señal modulada de fase continua. La señal recibida se transpone en la banda base, se convierte en una señal digital y se transfiere a un procesador de señales. Cada paquete de datos transmitido tiene una secuencia de preámbulo conocida de N bits que permite una estimación aproximada de la sincronización de trama y la sincronización de bit y también la fase inicial y el desfase de frecuencia residual. El refinamiento progresivo de la estimación se obtiene con dos bucles digitales intercalados: un bucle lento para detectar la sincronización de bit y un bucle rápido que lleva a cabo decisiones intermedias sobre bloques adicionales de bits para la estimación de la fase inicial y el desfase de frecuencia residual.

El documento EO 0940958 describe un algoritmo usado para demodular una señal modulada en frecuencia. El algoritmo mejora la relación señal-ruido de la señal demodulada para relaciones portadora-ruido por debajo del umbral de fm. Se detectan y se eliminan los picos en la señal demodulada. La detección se hace mediante interpolación y otros criterios de la fase desenvuelta de la señal modulada en frecuencia. La fase desenvuelta se calcula como la fase absoluta que no se limita al intervalo $[-\pi, \dots, \pi]$.

Sumario de la invención

Con este fin, un sistema de comunicación según la invención y tal como se describe en el párrafo inicial, en el que el receptor comprende medios de cálculo para calcular una secuencia de fases, denominada secuencia inicial, basándose en decisiones tomadas sobre símbolos, y medios para detectar y corregir saltos de fase en la secuencia inicial, para suministrar una secuencia de fases, denominada secuencia final, a los medios de estimación de error de frecuencia, se caracteriza porque los medios para detectar y corregir saltos de fase comprenden:

- medios de modificación para modificar la secuencia inicial para producir una pluralidad de secuencias modificadas, que compensan cada una una configuración de saltos de fase,
- medios de cálculo para calcular ecuaciones de línea recta que determinan la secuencia inicial y las secuencias modificadas,
- medios de cálculo para calcular, para la secuencia inicial y las secuencias modificadas, una diferencia media entre una fase inicial de la secuencia inicial o una fase modificada de la pluralidad de secuencias modificadas y las fases de las secuencias producidas mediante la ecuación de línea recta, estando la secuencia final formada por la secuencia cuya diferencia media es mínima.

Breve descripción de los dibujos

Éstos y otros aspectos de la invención son evidentes de y se deducirán, a modo de ejemplo no limitante, con referencia a la(s) realización(es) descritas a continuación en el presente documento.

En los dibujos:

- la figura 1 es un ejemplo de un sistema de comunicación según la invención,
- la figura 2 es un diagrama de flujo que describe las etapas de un método de estimación de fase,
- la figura 3 es un diagrama de flujo que describe las operaciones usadas por los medios de detección y corrección de saltos de fase según la invención,
- la figura 4 es una representación de una secuencia de fases que incluye un salto de fase,
- la figura 5 es una representación de una secuencia de fases que incluye dos saltos de fase,
- la figura 6 es una representación en forma de curvas de los resultados obtenidos con la invención.

Descripción de realizaciones preferidas

En la figura 1 se representa un ejemplo de un sistema de comunicación según la invención. Este sistema de comunicación comprende terminales 1 de usuario interactivos, que son transmisores dentro del significado de la invención, y una estación 2 de cabecera, que es un receptor dentro del significado de la invención. La estación 2 de cabecera transmite señales en una primera banda Ku de frecuencia (12-14 GHz). Estas señales se retransmiten a los terminales 1 de usuario interactivos mediante un satélite 3. Los terminales de usuario interactivos transmiten señales en una segunda banda Ka de frecuencia (20-30 GHz). Estas señales se retransmiten a la estación 2 de cabecera mediante el satélite 3.

Cada terminal 1 comprende una fuente 10 de datos y medios 12 de codificación de canal. Los medios de codificación de canal entregan paquetes de N símbolos que contienen símbolos de preámbulo y símbolos de datos. Entonces, estos paquetes se transmiten a medios 13 de filtro y, finalmente, a medios 14 de modulación, que usan un oscilador local que tiene una frecuencia f_c .

La estación 2 de cabecera comprende medios 20 de demodulación que usan un oscilador local que tiene una frecuencia $f_c + \Delta f_0 / T_s$ (en que Δf_0 es una diferencia de frecuencia normalizada relativa a la frecuencia de símbolo, y T_s es la duración de los símbolos) y una fase Θ_0 inicial. La estación 2 de cabecera también comprende medios 21 de filtro y medios 22 de muestreo, que muestrean la señal de salida del filtro 21, para entregar símbolos denominados símbolos recibidos. Los símbolos recibidos se transmiten a medios 23 de recuperación de frecuencia que estiman la diferencia Δf_0 de frecuencia normalizada y corrigen los símbolos recibidos para compensar la diferencia Δf_0 estimada. Los medios 23 de recuperación de frecuencia entregan símbolos corregidos en frecuencia. Estos símbolos corregidos en frecuencia se transmiten a los medios 24 de recuperación de fase. Finalmente, los símbolos corregidos en fase y corregidos en frecuencia se transmiten a los medios 25 de decodificación de canal que entregan datos 27.

En el ejemplo aquí descrito, los medios 24 de recuperación de fase comprenden medios 50 de estimación de fase y frecuencia y medios 51 de corrección de fase. Los medios 50 de estimación de fase se describen con referencia a la figura 2. Están formados por un bucle destinado a pasarse L veces. En el resto de la descripción, el índice m (m = 1 a L) es un contador de bucles. Cada valor de m corresponde por tanto a un trayecto de bucle. El bucle comprende:

ES 2 278 769 T3

- medios 52 de estimación de fase convencionales (por ejemplo maximización de esperanzas) para producir una secuencia S1 de fases inicial relacionada con un paquete $r_k^{(m-1)}$ ($m = 1$ a L, y $k = 1$ a q, en que $q \leq N$),
- medios 53 para calcular un error de frecuencia relacionado con dicho paquete, basándose en la secuencia S1 inicial,
- medios 54 para corregir la frecuencia de los símbolos del paquete, para corregir dicho error de frecuencia,
- medios 55 de bucle que suministran los símbolos $r_k^{(m)}$ corregidos en frecuencia a los medios 52 de estimación de fase para un trayecto siguiente a través del bucle,
- y medios 56 de salida de bucle que suministran a los medios 51 de corrección de fase las fases estimadas por los medios 52 de estimación de fase (o, directamente, la corrección que debe realizarse) y los símbolos que deben corregirse.

Los medios 53 de cálculo calculan una estimación $\hat{\Delta f}_m$ del error de frecuencia relacionada con los símbolos $r_k^{(m-1)}$ de un mismo paquete basándose en la secuencia S1 de fase inicial producida por los medios 52 de estimación de fase. Los valores de esta secuencia S1 de fase están entre $-\infty$ y $+\infty$. Los medios 53 de cálculo comprenden:

- medios 60 para detectar y corregir saltos de fase para corregir la secuencia S1 inicial y para entregar una secuencia S2 final.
- medios 62 para calcular la pendiente de una línea recta que está lo más próxima posible a los valores de la secuencia S2, aplicando el algoritmo de Tretter. La pendiente obtenida forma una estimación $\hat{\Delta f}_m$ de error de frecuencia relacionada con los símbolos del paquete. Es éste error de frecuencia el que se transmite a los medios 54 de corrección de frecuencia. Los símbolos obtenidos después de la corrección

$$r_k^{(m)} = r_k^{(m-1)} \cdot e^{-2\pi j k \hat{\Delta f}_m}$$

de frecuencia, se transmiten a los medios 52 de estimación de fase para un nuevo trayecto a través del bucle. Durante el último trayecto a través del bucle ($m = L$), los símbolos

$$r_k^{(L-1)} e^{-j \hat{\theta}_k^{(L)}}$$

que deben corregirse y la corrección de fase que debe realizarse a estos símbolos se transmiten a los medios 51 de corrección de fase.

Los medios 60 para detectar y corregir saltos de fase se representan en la figura 3. Comprenden:

- medios 100 para modificar la secuencia inicial para compensar una pluralidad de configuraciones de saltos de fase; los medios 100 de corrección producen una pluralidad de secuencias modificadas que corresponden cada una a la corrección de configuración de saltos de fase,
- medios 110 para calcular ecuaciones de línea recta que determinan la secuencia inicial y las secuencias modificadas,
- medios 120 de cálculo para calcular, para la secuencia inicial y las secuencias modificadas, una diferencia media entre las fases inicial o modificadas y las fases producidas mediante la ecuación de línea recta correspondiente, estando dicha secuencia final formada por la secuencia cuya diferencia media es mínima.

El uso de los medios 60 para detectar y corregir saltos de fase es diferente y depende del número de saltos de fase que deseen corregirse. Pero el método aplicado sigue siendo el mismo. La invención puede aplicarse por tanto a cualquier número de saltos de fase. Ahora se describirán dos ejemplos de realización de los medios 60 para detectar y corregir saltos de fase:

- un primer ejemplo, en el que los medios 60 para detectar y corregir saltos de fase se destinan a corregir un único salto de fase de $\pm \frac{\pi}{2}$;
- un segundo ejemplo, en el que los medios 60 para detectar y corregir saltos de fase se destinan a corregir dos saltos de fase de $\pm \frac{\pi}{2}$ en la misma dirección; este segundo ejemplo corresponde al caso más probable en el que los paquetes transmitidos son celdas ATM de 53 octetos.

En los ejemplos que se describirán, los medios 100 de modificación modifican la secuencia S1 inicial de fase en fase. Pero, para disminuir el número de cálculos que deben realizarse, es posible modificar la secuencia de grupo de fases en grupo de fases. Esto equivale a compensar solamente para determinadas configuraciones de saltos de fase.

El primer ejemplo de realización de los medios 60 para detectar y corregir saltos de fase se describe con referencia a la figura 4. En la figura 4 se representa un ejemplo de una secuencia S1 inicial que comprende un salto de

fase de $+\frac{\pi}{2}$. Los medios 60 para detectar y corregir saltos de fase tienen la función de detectar la posición y la dirección del salto de fase y entonces corregirlo. Por lo tanto, tal como se indica en la figura 3, realizan las siguientes operaciones:

a) Se aplica el algoritmo de Tretter a la secuencia S1 inicial formada por las fases φ_j ($j=0$ a $Q-1$) para obtener la ecuación D_0 de línea recta que determina esta secuencia. La ecuación se escribe como:

$$D_0: y=a_0.x+b_0$$

con:

$$a_0 = \alpha S' - \beta S \quad y \quad b_0 = \gamma S - \beta S'$$

en que

$$S = \sum_{j=0}^{q-1} \varphi_j, \quad S' = \sum_{j=0}^{q-1} j \varphi_j, \quad \alpha = 12/(q.(q^2 - 1)), \quad \beta = 6/(q.(q+1))$$

y

$$\gamma = 2(2q - 1)/(q(q + 1))$$

Estas expresiones pueden derivarse fácilmente de los cálculos mostrados en las páginas 523 y 524 del título "Numerical Recipes in C, the art of scientific computing, second edition" (Recetas numérica en C, la técnica de la informática científica, segunda edición) de W.H. Press, S.A. Teukolsky, W.T. Vetterling, y B.P. Flannery, publicado por Cambridge University Press en 1995, mientras que se considera que la incertidumbre de las fases es constante cualquiera que sea j .

b) Se calcula una diferencia $(\sigma_0)^2$ media inicial entre las fases φ_j de la secuencia S1 inicial y las fases $y(j)$ procedentes del ecuación D_0 de línea recta.

$$(\sigma_0)^2 = \frac{1}{q} \sum_{j=0}^{q-1} \left| \varphi_j - (a_0 \cdot j + b_0) \right|^2$$

c) Se recorre la secuencia S1 de punto en punto comenzando desde el final (símbolo de clasificación $q-1$); el índice i es un contador que indica la posición del salto de fase ($i = q-1, \dots, 0$).

d) Con cada etapa, las fases φ_j ($j = q-i, \dots, q-1$) se modifican en $+\frac{\pi}{2}$, así que se obtiene una secuencia C_i^+ modificada. Por lo tanto, esta secuencia C_i^+ se constituye por las fases

$$\varphi_j^+ = \begin{cases} \varphi_j & \text{para } j = 0, \dots, q-i-1 \\ \varphi_j + \frac{\pi}{2} & \text{para } j = q-i, \dots, q-1 \end{cases}$$

e) Con cada etapa se calcula una ecuación D_i^+ de línea recta, dichas líneas rectas determinan la secuencia C_i^+ modificada. La ecuación se escribe como:

$$D_i^+ : y=(a_i)^+ .x + (b_i)^+$$

con:

$$a_i^+ = \alpha.(S_i')^+ - \beta.(S_i)^+ \quad b_i^+ = \gamma.(S_i)^+ - \beta.(S_i')^+ \quad y$$

en que

$$(S_i)^+ = \sum_{j=0}^{q-1} \varphi_j^+ = S + i \cdot \frac{\pi}{2} \quad (S_i')^+ = \sum_{j=0}^{q-1} j \varphi_j^+ = S' + \frac{\pi}{2} i (q - \frac{i+1}{2})$$

es decir,

$$a_i^+ = a_0 + \alpha \cdot \frac{\pi}{2} i (q - \frac{i+1}{2}) - \beta i \cdot \frac{\pi}{2} = a_0 + (A_i^+)$$

con

$$(A_i^+) = \alpha \cdot \frac{\pi}{2} i (q - \frac{i+1}{2}) - \beta i \cdot \frac{\pi}{2}$$

y

$$b_i^+ = b_0 + \gamma i \cdot \frac{\pi}{2} - \beta \cdot \frac{\pi}{2} i (q - \frac{i+1}{2}) = b_0 + (B_i^+)$$

con

$$(B_i^+) = \gamma i \cdot \frac{\pi}{2} - \beta \cdot \frac{\pi}{2} i (q - \frac{i+1}{2})$$

f) Para cada secuencia C_i^+ modificada, se calcula una diferencia $(\sigma_i^+)^2$ media entre las fases φ_j^+ de la secuencia C_i^+ modificada y las fases $y(j)$ procedentes de la ecuación D_i^+ de línea recta.

$$(\sigma_i^+)^2 = \frac{1}{q} \sum_{j=0}^{q-1} \left| \varphi_j^+ - [(a_i)^+ \cdot j + (b_i)^+] \right|^2$$

g) Las operaciones c) a f) se repiten mientras que se modifican las fases φ_j ($j = q-i, \dots, q-1$) de la secuencia inicial de $-\frac{\pi}{2}$. Para cada valor de i , se obtiene otra secuencia C_i^- modificada. Está formada por las fases

$$\varphi_j^- = \begin{cases} \varphi_j & \text{para } j = 0, \dots, q-i-1 \\ \varphi_j - \frac{\pi}{2} & \text{para } j = q-i, \dots, q-1 \end{cases}$$

h) La secuencia S2 final está formada por la secuencia cuya diferencia media es mínima.

Para un uso más complejo, se calculan las diferencias $(\sigma_i^+)^2$ medias basándose en la diferencia $(\sigma_0)^2$ media inicial. Se obtiene:

$$\begin{aligned}
 (\sigma_i^+)^2 = & \sigma_0^2 + 2\pi \sum_{j=q-i}^{q-1} \varphi_j - 2.(B_i^+)S - 2(A_i^+)S \\
 & + b_0 [(A_i^+).q.(q-1) + 2.(B_i^+).q - \pi] \\
 & + a_0 \left[\frac{(A_i^+).q.(q-1).(2q-1)}{3} + (B_i^+).q.(q-1) - \frac{\pi}{2}.i.(2q-i-1) \right] \\
 & + q.(B_i^+)^2 + (A_i^+).(B_i^+).q.(q-1) + \frac{(A_i^+)^2.q.(q-1).(2q-1)}{6} - \frac{\pi}{2}.(A_i^+).i.(2q-i-1) - \pi.(B_i^+).i + \frac{\pi^2}{4}.i
 \end{aligned}$$

La diferencia $(\sigma_i^-)^2$ media se obtiene reemplazando en la expresión de $(\sigma_i^+)^2$:

$$\pi \text{ por } -\pi, \quad (A_i^+) \text{ por } -(A_i^+) \quad \text{y} \quad (B_i^+) \text{ por } -(B_i^+).$$

El segundo ejemplo de realización de los medios 60 para detectar y corregir saltos de fase se describe con referencia a la figura 5. En la figura 5, se muestra un ejemplo de una secuencia S1 inicial que comprende dos saltos de fase de $+\frac{\pi}{2}$. En la etapa d), las fases se modifican en $+\frac{\pi}{2}$ para los símbolos p desde la clasificación q-k-p hasta q-k-1, y en $+\pi$ para los símbolos k desde la clasificación q-k hasta q (k varía entre 1 y q y p varía entre 1 y q-k). Por lo tanto, las secuencias modificadas obtenidas en la etapa d) se escriben como:

$$\varphi_j^+ = \begin{cases} \varphi_j & \text{para } j = 0, \dots, q-k-p-1 \\ \varphi_j + \frac{\pi}{2} & \text{para } j = q-k-p, \dots, q-k-1 \\ \varphi_j + \pi & \text{para } j = q-k, \dots, q \end{cases}$$

$$\varphi_j^- = \begin{cases} \varphi_j & \text{para } j = 0, \dots, q-k-p-1 \\ \varphi_j - \frac{\pi}{2} & \text{para } j = q-k-p, \dots, q-k-1 \\ \varphi_j - \pi & \text{para } j = q-k, \dots, q \end{cases}$$

Y las ecuaciones de línea recta calculadas en la etapa e) se escriben como:

$$D_{p,k}^+ : y = (a_{p,k}^+).x + (b_{p,k}^+)$$

con:

$$(a_{p,k})^+ = \alpha.(S_{p,k}')^+ - \beta.(S_{p,k})^+ \quad \text{y} \quad (b_{p,k})^+ = \gamma.(S_{p,k})^+ - \beta.(S_{p,k}')^+$$

en que

$$(S_{p,k})^+ = \sum_{j=0}^{q-1} \varphi_j^+ = S + p.\frac{\pi}{2} + k.\pi$$

y

$$(S_{p,k}')^+ = \sum_{j=0}^{q-1} j \varphi_j^+ - S' + \frac{\pi}{2} \cdot p \cdot (q - k - \frac{p+1}{2}) + \pi \cdot k \cdot (q - \frac{k+1}{2})$$

es decir,

$$a_{p,k}^+ = a_0 + \alpha \left[\frac{\pi}{2} \cdot p \cdot (q - k - \frac{p+1}{2}) + \pi \cdot k \cdot (q - \frac{k+1}{2}) \right] - \beta \left[p \frac{\pi}{2} + k\pi \right] = a_0 + (A_{p,k}^+)$$

con

$$(A_{p,k}^+) = \alpha \left[\frac{\pi}{2} \cdot p \cdot (q - k - \frac{p+1}{2}) + \pi \cdot k \cdot (q - \frac{k+1}{2}) \right] - \beta \left[p \frac{\pi}{2} + k\pi \right]$$

y

$$b_{p,k}^+ = b_0 + \gamma \left[p \frac{\pi}{2} + k\pi \right] - \beta \left[\frac{\pi}{2} \cdot p \cdot (q - k - \frac{p+1}{2}) + \pi \cdot k \cdot (q - \frac{k+1}{2}) \right] = b_0 + (B_{p,k}^+)$$

con

$$(B_{p,k}^+) = \gamma \left[p \frac{\pi}{2} + k\pi \right] - \beta \left[\frac{\pi}{2} \cdot p \cdot (q - k - \frac{p+1}{2}) + \pi \cdot k \cdot (q - \frac{k+1}{2}) \right]$$

Para una implementación menos compleja, se calculan las diferencias $(\sigma_{p,k}^+)^2$ medias basándose en la diferencia $(\sigma_0)_2$ media inicial. Se obtiene la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} (\sigma_{p,k}^+)^2 = & \sigma_0^2 + 2\pi \sum_{j=q-k}^{q-1} \varphi_j + \pi \sum_{j=q-k-p}^{q-k-1} \varphi_j - 2 \cdot (B_{p,k}^+) \cdot S - 2 \cdot (A_{p,k}^+) \cdot S' \\ & + b_0 [(A_{p,k}^+) \cdot q \cdot (q-1) + 2 \cdot (B_{p,k}^+) \cdot q - \pi(p+2k)] \\ & + a_0 \left[\frac{(A_{p,k}^+) \cdot q \cdot (q-1) \cdot (2q-1)}{3} + (B_{p,k}^+) \cdot q \cdot (q-1) - \frac{\pi}{2} \cdot p \cdot (2q-2k-p-1) - \pi \cdot k \cdot (2q-k-1) \right] \\ & + q \cdot (B_{p,k}^+)^2 + (A_{p,k}^+) \cdot (B_{p,k}^+) \cdot q \cdot (q-1) + \frac{(A_{p,k}^+)^2 \cdot q \cdot (q-1) \cdot (2q-1)}{6} \\ & - \frac{\pi}{2} \cdot (A_{p,k}^+) \cdot p \cdot (2q-2k-p-1) - \pi \cdot (A_{p,k}^+) \cdot k \cdot (2q-k-1) - \pi \cdot (B_{p,k}^+) \cdot (p+2k) + \frac{\pi^2}{4} \cdot (p+4k) \end{aligned}$$

La diferencia $(\sigma_{p,k}^-)^2$ media se deriva de la expresión $(\sigma_{p,k}^+)^2$ reemplazando π por $-\pi$, $(A_{p,k}^+)$ por $(A_{p,k}^-)$ y $(B_{p,k}^+)$ por $(B_{p,k}^-)$.

Es evidente que los medios que acaban de describirse son medios de cálculo que se usan ventajosamente en forma de un programa informático destinado a ejecutarse mediante un microprocesador colocado en el receptor.

En la figura 6 se muestran los resultados obtenidos gracias a la invención en un sistema tal como se describe con referencia a las figuras 1 y 2. Las curvas de la figura 6 representan la tasa de error de paquete (PER, packet error rate) representada frente a la relación señal-ruido (SNR, signal-to-noise ratio) en los tres siguientes casos:

- curva R3: cuando no se detectan los saltos de fase;

ES 2 278 769 T3

- curva R2: cuando se detectan y se corrigen los saltos de fase con el método según la invención;
- curva R1: para un canal gaussiano (ninguna imperfección con respecto a la fase o frecuencia).

Estas curvas se han obtenido a través de:

- una modulación QPSK,
- un error Δf_0 de frecuencia inicial aleatorio comprendido entre -1% y $+1\%$ de la frecuencia de símbolo,
- un error θ_0 de fase inicial aleatorio comprendido entre $-\pi$ y $+\pi$,
- paquetes que comprenden un preámbulo $[a_1, \dots, a_{48}]$ conocido de 48 símbolos y una parte $[a_{49}, \dots, a_{592}]$ de carga útil de 544 símbolos,
- un algoritmo de recuperación de frecuencia (usado por los medios 23), que usa los preámbulos de paquete, y que se aplica antes de la estimación de fase, para que el error Δf_1 de frecuencia residual antes de la estimación de fase sea inferior o igual al $0,3\%$ de la frecuencia de símbolo,
- medios 50 de estimación de fase que están formados por un bucle por la que se pasa $L = 2$ veces,
- en la transmisión, una codificación Reed Solomon y una codificación de convolución que se perfora en 64 estados.

La invención no se limita a las realizaciones que acaban de describirse a modo de ejemplo. Más particularmente, se refiere a cualquier tipo de receptor que usa un dispositivo de corrección de error de frecuencia del tipo de Tretter y, aguas arriba de este dispositivo, un dispositivo de estimación de fase basándose en decisiones tomadas sobre los símbolos recibidos.

Además, el número de saltos de fase que puede detectarse y corregirse aplicando este método es arbitrario. Cuando los paquetes de datos transmitidos son más largos, es posible tener más de dos saltos de fase. En ese caso, para no complicar demasiado los cálculos, se elige ventajosamente dividir los paquetes de datos en partes más pequeñas para estar de nuevo en la misma posición donde tiene un máximo de dos saltos de fase por parte de paquete. El método descrito anteriormente se aplica así a cada parte del paquete. Esto proporciona la posición y la dirección de varios saltos de fase. Entonces, las fases se corrigen por un múltiplo de $\frac{\pi}{2}$ en función de la dirección de los saltos y de su número. Entonces, se aplica el algoritmo de Tretter a esta secuencia corregida para obtener la estimación de frecuencia final. Para evitar que se produzca un salto entre dos partes de un paquete, es deseable proporcionar un solapamiento entre las diversas partes del mismo paquete.

Generalmente, el método propuesto se usa para cualquier modulación MPSK considerando saltos de fase de $\pm 2\pi/M$ (en vez de $\pm \pi/2$ para una modulación QPSK).

REIVINDICACIONES

1. Sistema de comunicación que comprende al menos un transmisor (1) y un receptor (2) destinados a recibir símbolos procedentes de una modulación PSK, y que comprende medios (62) de estimación para estimar un error de frecuencia relacionado con un símbolo basándose en una secuencia de fases de símbolos, comprendiendo el receptor medios (52) de cálculo para calcular una secuencia de fases, denominada secuencia (S1) inicial, basándose en decisiones tomadas sobre símbolos, y medios para detectar y corregir saltos de fase en la secuencia inicial, para suministrar una secuencia de fases denominada secuencia (S2) final a los medios (62) de estimación de error de frecuencia,

caracterizado porque los medios para detectar y corregir saltos de fase comprenden:

- medios (100) de modificación para modificar la secuencia (S1) inicial para producir una pluralidad de secuencias (C_i^+ ; C_i^- ; $C_{p,k}^+$; $C_{p,k}^-$) modificadas, que compensan cada una una configuración de saltos de fase,
- medios (110) de cálculo para calcular ecuaciones de línea recta que determinan la secuencia (D0) inicial y las secuencias (D_i^+ ; D_i^- ; $D_{p,k}^+$; $D_{p,k}^-$) modificadas,
- medios (120) de cálculo para calcular, para la secuencia inicial y las secuencias modificadas, una diferencia media entre una fase inicial de la secuencia inicial o una fase modificada de la pluralidad de fases modificadas y las fases de las secuencias producidas mediante la ecuación de línea recta (σ_0^2 ; $(\sigma_i^+)^2$; $(\sigma_i^-)^2$; $(\sigma_{p,k}^+)^2$; $(\sigma_{p,k}^-)^2$), estando la secuencia final formada por la secuencia cuya diferencia media es mínima.

2. Sistema de comunicación según la reivindicación 1, **caracterizado** porque la secuencia inicial se modifica de grupo de fases en grupo de fases.

3. Receptor destinado a utilizarse en un sistema de comunicación según una de las reivindicaciones 1 o 2, que comprende

- medios (52) de cálculo para calcular una secuencia de fases, denominada secuencia inicial, basándose en decisiones tomadas sobre símbolos, y
- medios para detectar y corregir saltos de fase en la secuencia inicial,

caracterizado porque

dichos medios para detectar y corregir saltos de fase comprenden:

- medios (100) de modificación para modificar dicha secuencia (S1) inicial para producir una pluralidad de secuencias (C_i^+ ; C_i^- ; $C_{p,k}^+$; $C_{p,k}^-$) modificadas, que compensan cada una una configuración de saltos de fase,
- medios (110) de cálculo para calcular ecuaciones de línea recta que determinan la secuencia (D0) inicial y las secuencias (D_i^+ ; D_i^- ; $D_{p,k}^+$; $D_{p,k}^-$) modificadas,
- medios (120) de cálculo para calcular, para la secuencia inicial y las secuencias modificadas, una diferencia media entre las fases inicial y modificadas y las fases de las secuencias producidas mediante la ecuación de línea recta (σ_0^2 ; $(\sigma_i^+)^2$; $(\sigma_i^-)^2$; $(\sigma_{p,k}^+)^2$; $(\sigma_{p,k}^-)^2$) correspondiente, estando dicha secuencia final formada por la secuencia cuya diferencia media es mínima.

4. Método para detectar y corregir saltos de fase en una secuencia inicial de fases de símbolos procedentes de una modulación PSK, basándose la secuencia inicial en decisiones tomadas sobre símbolos, que comprende:

- una etapa de calcular una secuencia de fases, denominada secuencia inicial, basándose en decisiones tomadas sobre símbolos, y
- una etapa de detectar y corregir saltos de fase en la secuencia inicial para producir una secuencia de fases, denominada secuencia final, usada para la estimación de un error de frecuencia,

el método se **caracteriza** porque además comprende:

- una etapa (c, d) de modificar la secuencia (S1) inicial para producir una pluralidad de secuencias modificadas que compensan cada una una configuración de saltos de fase,
- una etapa de calcular ecuaciones de línea recta que determinan la secuencia (a) inicial y las secuencias (e) modificadas,

ES 2 278 769 T3

- una etapa de cálculo para calcular, para la secuencia (a) inicial y las secuencias (f) modificadas, una diferencia media entre una fase inicial de la secuencia inicial o una fase modificada de la pluralidad de secuencias modificadas y las fases de las secuencias producidas mediante la ecuación de línea recta $(\sigma_0^2; (\sigma_i^+)^2; (\sigma_i^-)^2; (\sigma_{p,k}^+)^2; (\sigma_{p,k}^-)^2;)$, estando dicha secuencia final formada por la secuencia cuya diferencia media es mínima.

5 5. Método para detectar y corregir saltos de fase según la reivindicación 4, **caracterizado** porque dicha secuencia inicial se modifica de grupo de fases en grupo de fases.

10 6. Producto de programa informático que comprende instrucciones para implementar todas las etapas de un método para detectar y corregir saltos de fase según las reivindicaciones 4 y 5 cuando dicho programa se ejecuta mediante un procesador.

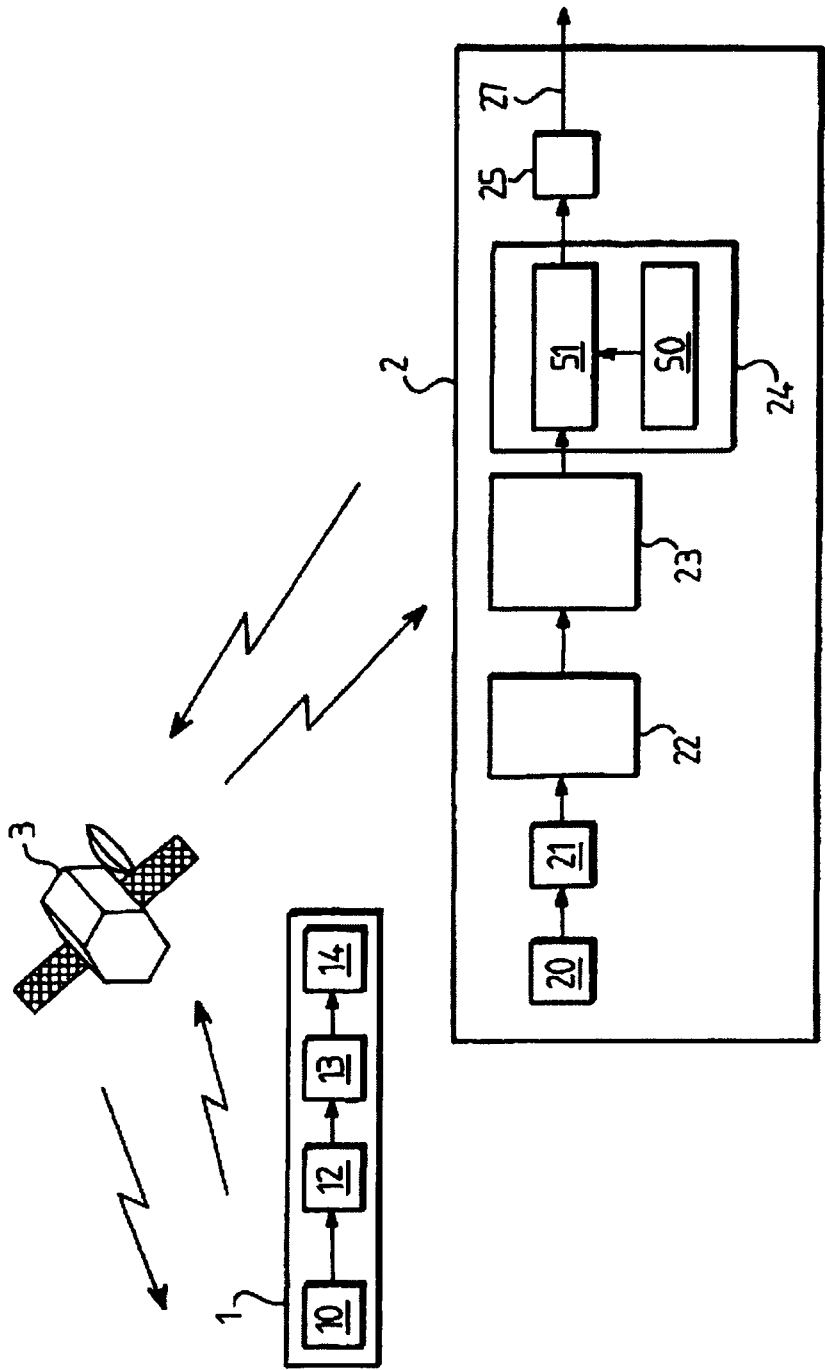


FIG.1

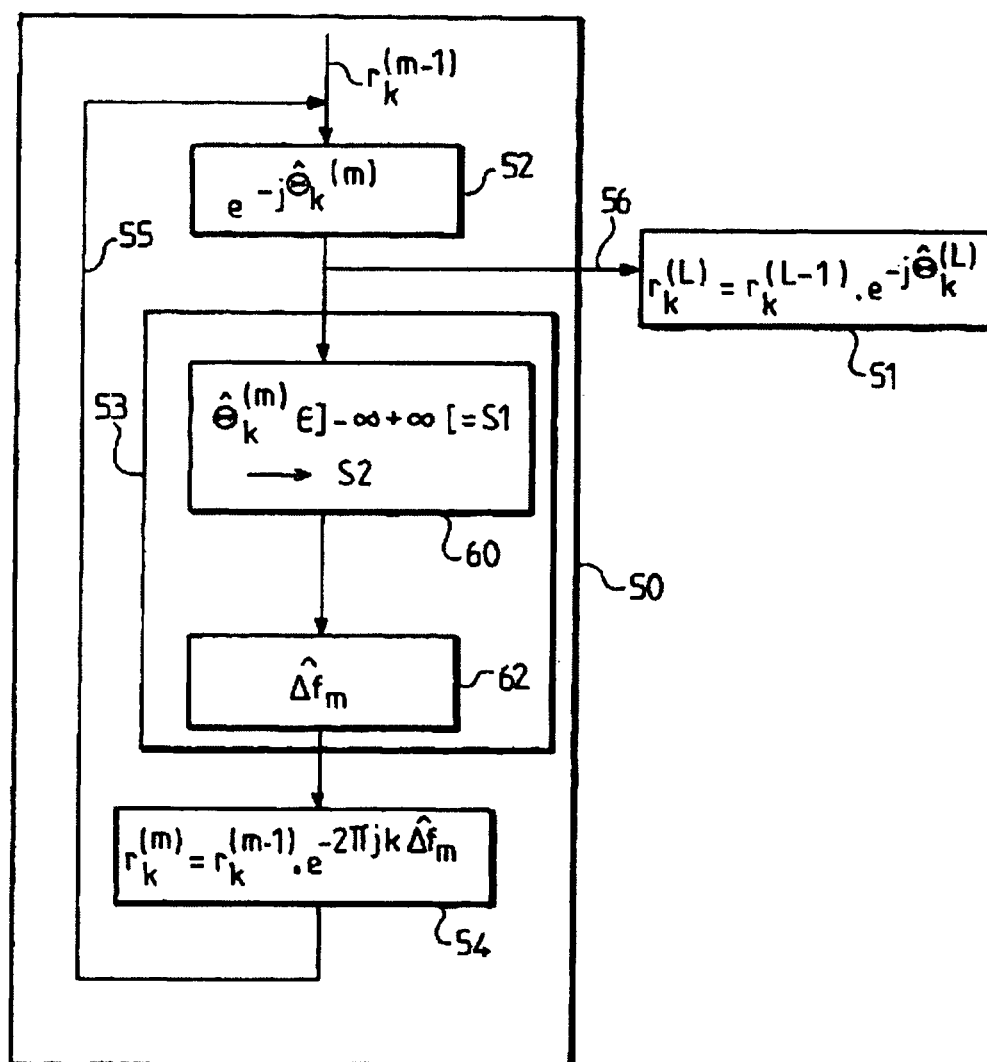


FIG.2

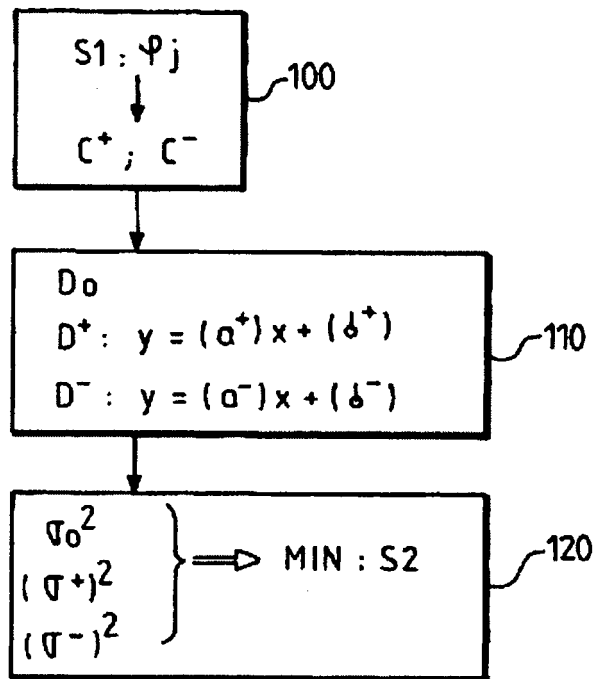


FIG. 3

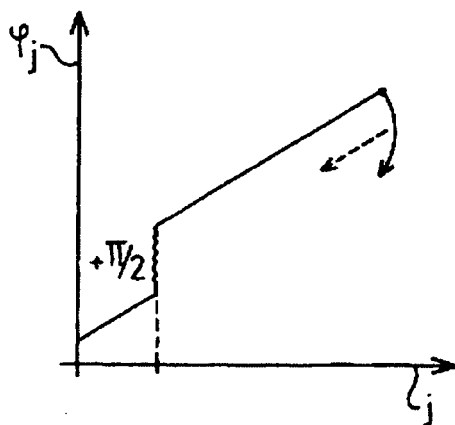


FIG. 4

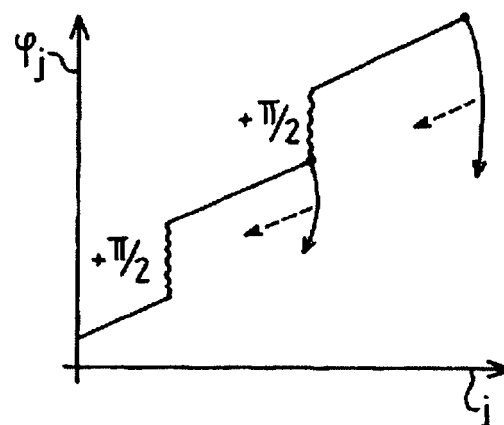


FIG. 5

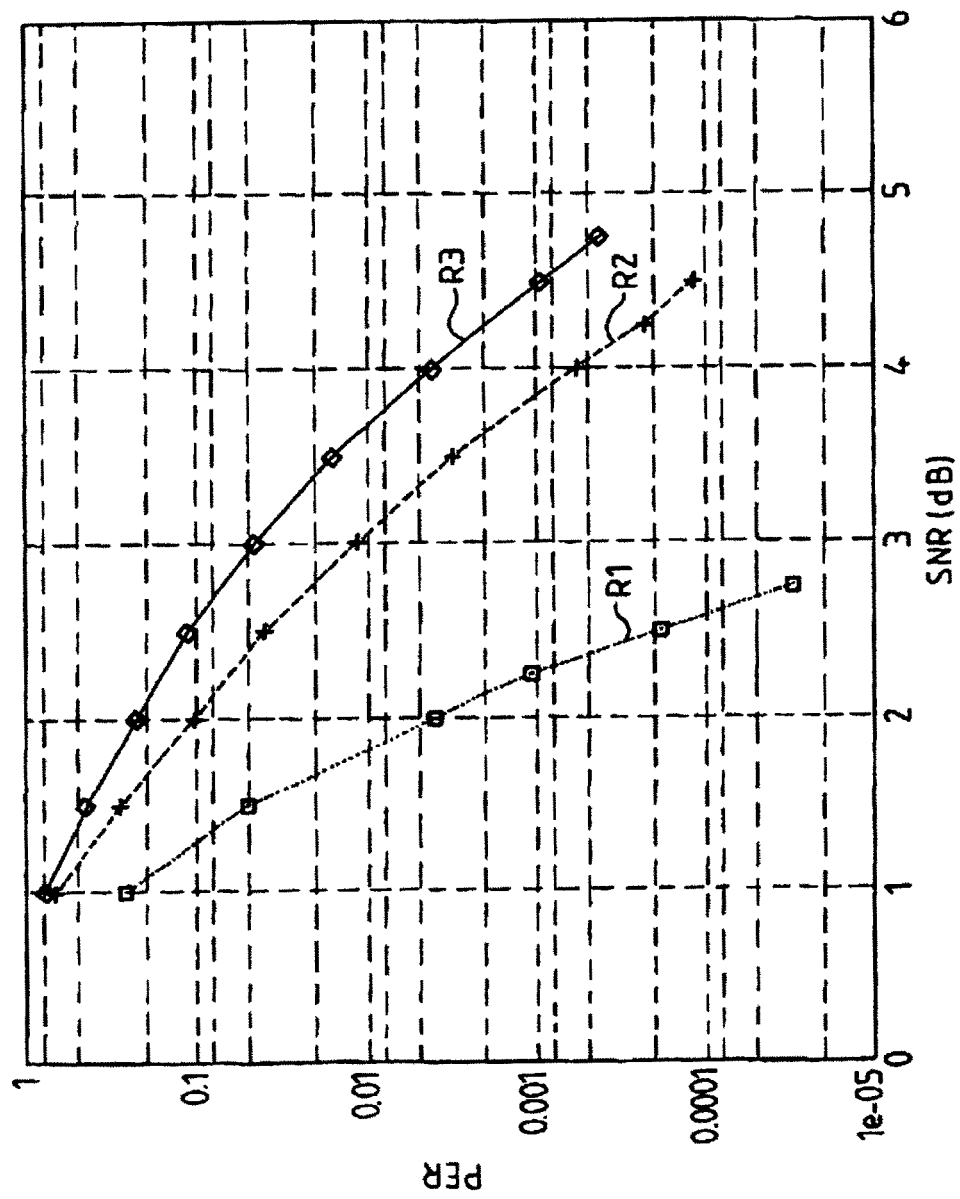


FIG. 6