

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 760 985**

51 Int. Cl.:

H04L 27/00 (2006.01)

H04L 27/26 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.02.2017 PCT/EP2017/052396**

87 Fecha y número de publicación internacional: **10.08.2017 WO17134233**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.02.2017 E 17702399 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.09.2019 EP 3412012**

54 Título: **Procedimiento de estimación de parámetros de señales contenidas en una banda de frecuencias**

30 Prioridad:

05.02.2016 FR 1650945

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

18.05.2020

73 Titular/es:

**ZODIAC DATA SYSTEMS (100.0%)
5 avenue des Andes, Zone d'activités de
Courtaboeuf
91978 Courtaboeuf Cedex, FR**

72 Inventor/es:

**GOULDIEFF, VINCENT;
DAUMONT, STEREDENN;
PALICOT, JACQUES y
THOMAS, YANN**

74 Agente/Representante:

CURELL SUÑOL, S.L.P.

ES 2 760 985 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de estimación de parámetros de señales contenidas en una banda de frecuencias.

5 **Campo técnico general**

La invención se refiere al campo de las telecomunicaciones y, en particular, al campo de los sistemas y procedimientos que permiten estimar ciertos parámetros constitutivos de una o de varias señales o portadoras moduladas contenidas en una misma banda de frecuencias.

10

Estado de la técnica

La multiplicación de los sistemas de telecomunicaciones genera una necesidad de reutilización de los canales con el fin de satisfacer la demanda en términos de banda pasante y de calidad de servicio. Una reutilización de este tipo es posible gracias a las redes celulares o puntos de acceso a internet.

15

La densificación de estas redes asociada a una reutilización de ciertos canales entre células próximas o adyacentes, genera unas situaciones en las que un terminal recibe una señal de interés contaminada con una o varias señales interferentes cuya potencia está cerca de la correspondiente de la señal útil. Esta concomitancia de señales que utilizan el mismo recurso frecuencial puede ser, según el caso, involuntaria (interferencia co-canal) o deliberada (el conocimiento *a priori* de la utilización de la misma frecuencia por parte de otro emisor se utiliza para recibir correctamente las telecomunicaciones y optimizar la utilización del espectro).

20

La tasa de errores de los terminales de arquitectura típica se degrada entonces mucho y es necesario utilizar unos algoritmos de separación o de reducción de interferencias con vistas a aislar la señal útil.

25

El conocimiento de ciertas características de las señales presentes en la banda considerada es necesario para el buen funcionamiento de estos algoritmos.

30

Estas características son, por ejemplo, la modulación utilizada, la potencia, la frecuencia portadora o incluso la cadencia de símbolos de cada una de las señales presentes en la banda considerada.

Se conocen unos métodos de estimación de las características de la señal principal cuando las señales interferentes son de niveles relativos muy débiles:

35

- Para la estimación de las modulaciones:

Se podrá hacer referencia a los documentos [Swami y Sadler, 2000] y [Ramkumar, 2009] o, también, a los documentos [Reichert, 1992] y [Rebeiz, 2011].

40

El documento [Ramkumar, 2009] aprovecha funciones cicloestacionarias habituales (función de autocorrelación cíclica (en inglés, "*Cyclic Autocorrelation Function*" (CAF)), función de correlación espectral [en inglés, "*Spectral Correlation Function*" (SCF)] y función de coherencia espectral (en inglés, "*Spectral Coherence Function*" (SOF)), a partir de las cuales se extraen características mediante un método que no aprovecha más que una parte de los picos obtenidos.

45

El documento [Reichert, 1992] se fundamenta en la transformada MPT (en inglés, "*Mth Power nonlinear Transform*") propuesta anteriormente en el documento [Mazo, 1978] con vistas a estimar la frecuencia portadora y la cadencia de símbolos de una señal de interés en ausencia de señales interferentes.

50

El documento [Rebeiz, 2011] extrae de una manera que no es a ciegas picos de la SOF (el autor supone que se conocen sus posiciones). Además, no aprovecha más que la amplitud de los picos y no su posición espectral para efectuar la clasificación.

55

- Para la estimación de otros parámetros (potencias, frecuencias portadoras, cadencias de símbolos, etcétera):

Podrá hacerse referencia al documento [Proakis, 2007], así como al documento [Wu, 2012]. En este último documento, el autor utiliza la SOF típica con vistas a estimar la cadencia de símbolos y la frecuencia portadora de una señal en ausencia de señal interferente.

60

Se han propuesto otras técnicas para la estimación de ciertos parámetros cuando varias señales están presentes en la misma banda de frecuencia. Utilizan unas transformadas en el dominio espectral o unas estadísticas de órdenes superiores. A este respecto, para la estimación de las modulaciones, se podrá hacer referencia:

65

- Al documento [Zaerin y Seyfe, 2012] que presenta un método de estimación de las modulaciones basado

en "cumulantes" de órdenes superiores. Esta técnica es eficaz para estimar las constelaciones de las señales útiles y de las señales interferentes. Sin embargo, resulta ineficaz cuando las SINR (en inglés, "Signal to Interference plus Noise Ratio", que definen la relación entre la potencia de la señal de interés y la potencia combinada de la señal interferente y del ruido aditivo) son débiles, es decir, cuando la potencia de la señal interferente es comparable a la de la señal de interés.

- Al documento [Guenther, 2010], en el cual se utiliza una función espectral de correlación (en inglés "Spectral Correlation Function" (SCF)) para la estimación de las características. No obstante, el carácter cooperativo del método presentado (se conocen ciertos parámetros a priori) hace que su utilización resulte imposible en cuanto las señales interferentes presentan un nivel elevado y en cuanto no puede utilizarse ninguna información a priori. Además, no aprovecha los valores de la amplitud de los picos de la SCF.

Así, las técnicas conocidas adolecen de numerosos inconvenientes.

15 Presentación de la invención

La invención propone paliar los inconvenientes citados previamente.

Con este fin, la invención propone un procedimiento de estimación de parámetros constitutivos de una sola señal o de señales mezcladas en frecuencia, constituido por las siguientes etapas:

- recepción de una sola señal o de una mezcla de señales $y(t)$ en una banda de frecuencias dada;
- determinación para L , que es un número real estrictamente positivo tomado de un conjunto de q , q estrictamente positivo, valores predeterminados $\{L_1; \dots; L_q\}$, de la función de correlación espectral definida a continuación:

$$LSCF_y(f, \alpha) \triangleq \sqrt[L]{|\mathcal{F}_\tau[R_{y^L}(\tau, \alpha)](f)|}$$

en la que

$$R_{y^L}(\tau, \alpha) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^N y^L(n) y^{*L}(n - \tau) e^{-j2\pi\alpha n}$$

es la función de autocorrelación cíclica de la elevación a la potencia L de la versión muestreada $y(n)$ de la señal $y(t)$ y en la que $\mathcal{F}_\tau[\cdot]$ es la transformada de Fourier y en la que, para cada q , α puede adoptar independientemente uno o varios valores discretos y/o recorrer uno o varios intervalos de valores;

- tratamiento de cada transformación $LSCF_y(f, \alpha)$, siendo L tomado de un conjunto de q , q estrictamente positivo, valores predeterminados $\{L_1; \dots; L_q\}$ para extraer de los mismos un conjunto de picos p_i , es decir de máximos locales detectados según las variables f y α o según la variable única f para cada valor discreto de símbolo α , estando cada uno de estos picos caracterizado por un triplete $\{LAp_i, LFP_i, Lq_i\}$ en la que LFP_i y Lq_i son, respectivamente, la frecuencia y la frecuencia cíclica a la que se sitúa y LAp_i su amplitud;
- identificación de grupos de tripletes $\{LAp_i, LFP_i, Lq_i\}$ como la firma dejada por un conjunto de parámetros constitutivos de señales presentes en la banda de frecuencia dada.

En el contexto de la invención, para M real, resulta útil usar el caso particular de la función MPT definida de la manera siguiente:

$$MPT_y(f) \triangleq \sqrt[M]{|\mathcal{F}_\tau[r_{y^M}(\tau)](f)|}$$

en la que $\mathcal{F}_\tau[\cdot]$ es la transformada de Fourier, $r_{y^M}(\tau)$ es la función de autocorrelación de la elevación a la potencia M de la señal muestreada $y(n)$ que eventualmente habrá sido normalizada y centrada de manera previa. Cuando el orden M y el orden L son idénticos, la función MPT corresponde a la función $LSCF$ tomada para símbolo α nulo: $LSCF_y(f; 0) = MPT_y(f) \setminus L = M$. La formulación general que utiliza la función $LSCF$ incluye, por tanto, el caso particular de la función MPT .

Cuando el orden M y el orden L son idénticos, la función MPT corresponde a la función $LSCF$ tomada para α nulo: $LSCF_y(f; 0) = MPT_y(f) \setminus L = M$. La formulación general que utiliza la función $LSCF$ incluye el caso particular de la función MPT .

- 5 La fase de identificación se puede basar en varios métodos de clasificación de los picos detectados. Todos se fundamentan en las propiedades intrínsecas de cada función LSCF (respectivamente MPT) que genera unas rayas espectrales características de la mezcla, que se pueden calificar así como firma. Las frecuencias en las cuales aparecen estas rayas son unas combinaciones de las carencias y de las frecuencias portadoras residuales, mientras que sus perfiles de amplitudes según el orden L (respectivamente M) de las transformaciones espectrales son, principalmente, función de las modulaciones (constelación y filtro de conformación) y de las amplitudes de las señales de la mezcla.
- 10 La invención se fundamenta en la riqueza de las combinaciones de transformaciones espectrales observables y el aprovechamiento conjunto de las posiciones y de las amplitudes de los picos. En efecto, la elección de ciertos órdenes de transformación (L o M) asociada a la posibilidad de explorar una dimensión suplementaria de variable (la frecuencia cíclica α) hace que resulte posible una determinación separada, sin conocimiento *a priori*, de los parámetros constitutivos de la mezcla de señales. En particular, los valores de interés para L (o M) dependen de las constelaciones previstas, y, típicamente, se pueden seleccionar del conjunto {2, 4, 8} para caracterizar las constelaciones más corrientes.
- 15 La invención se completa, ventajosamente, con las siguientes disposiciones, consideradas solas o en cualquiera de sus combinaciones técnicamente posibles.
- 20 La etapa de determinación se realiza en primer lugar, considerando la frecuencia cíclica α como el valor discreto nulo (a saber, la función MPT) para identificar grupos de tripletes $\{LAp_i, LFP_i, L\alpha p_i = 0\}$, y en segundo lugar, seleccionando un conjunto de valores del orden L y de valores discretos o de intervalos de variación de $\alpha \neq 0$ determinados en función de los resultados de la primera aplicación del procedimiento.
- 25 La raíz L-ésima del módulo de la transformada de Fourier es sustituido en las fórmulas de transformaciones espectrales por cualquier otra potencia o un logaritmo o cualquier otra función real monótona del módulo de la transformada de Fourier.
- 30 El procedimiento comprende, además, un pretratamiento de la señal recibida, que comprende las siguientes subetapas:
- determinación de la densidad espectral de potencia de $y(n)$;
 - tratamiento de la densidad espectral de potencia para estimar el nivel de ruido contenido en la mezcla;
 - tratamiento de normalización y de centrado de la mezcla de señales a partir de las características obtenidas anteriormente, fundamentándose entonces la determinación de las funciones LSCF para ciertos valores de L tomados en $\{L_1, \dots, L_q\}$, en la mezcla normalizada y centrada.
- 35
- 40 La identificación comprende una etapa de comparación de grupos de tripletes $\{LAp_i, LFP_i, L\alpha p_i\}$ obtenidos con firmas predeterminadas de antemano, es decir tripletes o pares que corresponden a un juego de hipótesis de parámetros constitutivos de las señales presentes en la mezcla.
- 45 La identificación permite la estimación de las modulaciones y de las amplitudes de las señales utilizando un algoritmo de clasificación de los picos según la frecuencia a la cual están situados los mismos, y a continuación una búsqueda por cálculo de parámetros constitutivos de la mezcla creando firmas parecidas a los grupos así formados.
- 50 La estimación de las modulaciones y de las amplitudes de la mezcla de señales utiliza un algoritmo de búsqueda del máximo de verosimilitud de los picos obtenidos utilizando modelos analíticos de firmas y de probabilidad de las desviaciones observadas.
- 55 La estimación de las modulaciones de cada una de las señales utiliza un algoritmo que busca el mínimo del Error Cuadrático Medio (EQM) entre los diferentes tripletes o pares y una base de firmas establecida previamente a partir de valores teóricos o experimentales.
- Los valores de L se seleccionan en función de las modulaciones presentes en normas de telecomunicaciones consideradas.
- 60 La identificación permite la estimación de las frecuencias portadoras residuales y de las cadenas de símbolos a partir de los valores LFP_i .
- 65 La identificación permite la estimación del número de señales N_u a partir de los valores LFP_i .

Presentación de las figuras

5 Se pondrán de manifiesto otras características, finalidades y ventajas de la invención a partir de la descripción siguiente, la cual es puramente ilustrativa y no limitativa, y la cual debe interpretarse en relación con los dibujos adjuntos, en los cuales:

- la figura 1 ilustra esquemáticamente unas etapas de un procedimiento según la invención;
- la figura 2 ilustra esquemáticamente unos detalles de las etapas del procedimiento de la figura 1.

10 En el conjunto de las figuras, los elementos similares llevan referencias idénticas.

Descripción detallada de la invención

15 En el marco de un procedimiento de estimación de parámetros constitutivos de una o de varias señales superpuestas parcial o totalmente en frecuencia en una banda dada, descrito en relación con las figuras 1 y 2, una señal $y(t)$ es recibida E0 por un receptor 1 de radiocomunicaciones que comprende una o varias antenas 2.

20 La señal compuesta $y(t)$ recibida es una sola señal o una mezcla de varias señales contenidas en una banda de frecuencias y se expresa temporalmente de la manera siguiente:

$$y(t) = \sum_{u=1}^{N_u} a_u(t) \cdot e^{j \cdot (2\pi \cdot f_u(t) \cdot t + \phi_u)} \cdot \sum_{k=1}^N s_u(k) \cdot h_u \left(t - \frac{k}{R_u(t)} - \tau_u \right) + \omega(t)$$

Con

- 25 - ω : el ruido blanco gaussiano aditivo;
- N_u : el número de señales contenidas en la banda de frecuencias considerada;
- a_u : la amplitud de la señal u ;
- f_u : la frecuencia portadora de la señal u ;
- 30 - ϕ_u : la fase en el origen de la señal u ;
- s_u : los símbolos emitidos por el emisor u ;
- R_u : la cadencia de símbolos del emisor;
- τ_u : el retardo inicial de la señal u ;
- h_u : el filtro de conformación de la señal u .

35 El objetivo del procedimiento es estimar los parámetros constitutivos de cada señal presente en la banda de frecuencias considerada. Para una señal de índice u , se interesa, en particular, en su cadencia R_u , en su desplazamiento de frecuencia portadora f_u , en su amplitud a_u , en su constelación C_u de la cual proceden los símbolos s_u y, eventualmente, en su filtro de conformación del impulso h_u .

40 En una primera etapa, la señal compuesta $y(t)$ se digitaliza E1 por medio de una cadena de recepción típica. Una cadena de recepción del tipo mencionado comprende, típicamente, un filtro de radiofrecuencia asociado a un amplificador de bajo ruido, seguido por un mezclador que permite el paso de una banda que comprende la banda de interés en banda base, y, finalmente, por un muestreador. Se obtiene, por tanto, una señal muestreada $y(n)$ en la que n representa un índice de muestra. $y(n)$ se define, en particular, por medio de:

45

$$y(n) = \sum_{u=1}^{N_u} a_u(n) \cdot e^{j \cdot (2\pi \cdot f'_u(n) \cdot n + \phi_u)} \cdot \sum_{k=1}^N s_u(k) \cdot h_u \left(n - \frac{k}{R_u(n)} - \tau_u \right) + \omega(n)$$

correspondiendo f'_u a la frecuencia portadora residual normalizada de la señal u .

50 De manera facultativa para facilitar los tratamientos posteriores, se somete la señal digitalizada $y(n)$, en una segunda etapa, a un pretratamiento E2.

Este pretratamiento E2 comprende una subetapa de centrado y de normalización E21. Este pretratamiento E2 permite obtener una señal $y_{cn}(n)$ tal que su densidad espectral de potencia está centrada en 0 y tal que:

55

$$\sum_{u=1}^{N_u} \bar{a}_u^2 = 1 \quad , \quad \text{con} \quad \bar{a}_u = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N a_u(n) .$$

Esta subetapa se efectúa, eventualmente, a partir de la estimación E23 del nivel de ruido σ_ω^2 contenido en la

mezcla, y, eventualmente, para cada señal de la mezcla, de su banda útil B_u , estimándose E23, posiblemente, estos parámetros por medio de una determinación E22 de la densidad espectral de potencia de la señal $y(n)$. Esto se posibilita mediante la detección de la relación de la señal con respecto al ruido. Asimismo, la densidad espectral de potencia permite determinar la banda de frecuencias útil y la frecuencia central de esta banda, tal como se explica en el documento [Proakis, 2007].

De manera muy general se determina en una tercera etapa E3, para diferentes valores de L tomados de un conjunto $\{L_1, \dots, L_q\}$ de q (q estrictamente positivo) números reales estrictamente positivos que calcula la función de correlación espectral definida a continuación:

$$LSCF_y(f, \alpha) \triangleq \sqrt[L]{|\mathcal{F}_\tau[R_{y^L}(\tau, \alpha)](f)|}$$

en la que

$$R_{y^L}(\tau, \alpha) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^N y^L(n) y^{*L}(n - \tau) e^{-j2\pi\alpha n}$$

es la función de autocorrelación cíclica (en inglés, “*cyclic autocorrelation function*”, (CAF)) de la señal muestreada $y(n)$ elevada a la potencia L que, eventualmente, habrá sido normalizada y centrada, en la que $\mathcal{F}_\tau[\cdot]$ es la transformada de Fourier y en la que, para cada q, α puede adoptar independientemente uno o varios valores discretos y/o recorrer uno o varios intervalos de valores.

En particular, una tercera etapa E3 simplificada consiste en considerar, en primer lugar, una frecuencia cíclica α nula. Así, para M, número real estrictamente positivo tomado de un conjunto de q (q estrictamente positivo) valores predeterminados $\{M_1, \dots, M_q\}$, esto equivale entonces a calcular la función espectral:

$$MPT_y(f) \triangleq \sqrt[M]{\mathcal{F}_\tau[r_{y^M}(\tau)](f)}$$

en la que $r_{y^M}(\tau)$ es la función de autocorrelación de la elevación a la potencia M de la señal muestreada $y(n)$ que, eventualmente, habrá sido normalizada y centrada de manera previa. En función de los resultados obtenidos, el análisis se puede completar con el cálculo de funciones $LSCF_y(f, \alpha \neq 0)$ limitadas que utilizan solamente un subconjunto pertinente de valores de L entre los correspondientes de M utilizados en el transcurso de la tercera etapa.

Los órdenes de las transformaciones espectrales M o L consideradas dependen de las modulaciones previstas en la mezcla, típicamente $M = L = 2, 4$ u 8 son suficientes para caracterizar correctamente los parámetros de las diferentes señales para las modulaciones habituales tales como BPSK, QPSK, OQPSK, 8-QAM, 16-QAM, 8-PSK, 16-APSK, 32-APSK.

A continuación, en una cuarta etapa, cada transformación $LSCF_y(f, \alpha)$ obtenida para cada valor de L tomado del conjunto $\{L_1, \dots, L_q\}$ es procesada E4 para extraer de la misma unos tripletes $\{LAp_i, LFp_i, Lq_p\}$ que designan sus picos p_i según las dos variables f y α en la que LAp_i es la amplitud del pico, LFp_i la frecuencia f en la que se sitúa el mismo y Lq_p la frecuencia cíclica α en la cual aparece.

Cuando se han utilizado valores discretos de α para ciertos valores de L entonces, en cada valor de α considerado, los picos se detectan solamente según la variable única f y de allí se deduce que Lq_p es igual al α . En particular, cuando se utiliza la transformación $MPT_y(f)$ sola para M tomado de $\{M_1, \dots, M_q\}$, estos tripletes tienen, todos ellos, un valor α nulo, y se pueden reducir, por tanto, a un simple par $\{MAp_i, MFp_i\}$.

Se considera que está presente un pico en cuanto la función espectral presenta un máximo local, válido sobre un intervalo de una anchura que, según las utilizaciones, se puede determinar de antemano o de manera adaptativa, máximo cuya amplitud es superior o igual a un umbral que, según las utilizaciones, también se puede determinar de antemano o de manera adaptativa. Por ejemplo, el valor del umbral se puede seleccionar en función del número de muestras consideradas y/o del nivel de ruido estimado en la mezcla.

Cabe señalar que las funciones $LSCF_y(f)$ y $MPT_y(f)$ se extraen por medio de una raíz L-ésima o M-ésima del módulo de la transformada de Fourier. La utilización de otra potencia de la transformada de Fourier, e incluso de su logaritmo o de una función monótona cualquiera sobre los números reales positivos, proporciona las mismas posiciones de picos con amplitudes respectivamente modificadas por la función utilizada. Por lo tanto, es posible utilizar estas fórmulas alternativas para extraer las tripletes.

Una vez que se han obtenido los diferentes tripletes, en una quinta etapa se identifican E5 grupos de tripletes $\{LAp_i,$

LFp_i, Lqp_i} observados como firmas características dejadas por la presencia de ciertos tipos de señales en la banda de frecuencias consideradas, es decir que estos grupos de picos situados en frecuencias particulares siguen un perfil de amplitud en función del orden L que es característico de los parámetros constitutivos de la mezcla: en particular, este conjunto de firmas puede indicar la potencia y/o la frecuencia portadora y/o la cadencia de símbolos y/o el tipo de modulación de las señales presentes en la mezcla así como su número.

Por convención, se considerará que la señal de interés es la que tiene la amplitud más significativa. Sin embargo, se observará que ciertas aplicaciones se centran más bien en señales que se encontrarían enmascaradas por una o varias señales que utilizan el mismo recurso frecuencial aunque con una potencia más elevada.

En particular, con vistas a estimar las modulaciones y las amplitudes de cada una de las señales, es posible utilizar diferentes algoritmos de reconocimiento de las firmas más probables:

- un algoritmo de clasificación de picos que aparecen en varias transformaciones a frecuencias relacionadas entre ellas mediante una relación simple (idénticas, armónicas, o regularmente separadas) y que tienen, como referencia de comparación, una base de datos de firmas previamente establecida.
- o un algoritmo de optimización basado en fórmulas analíticas que dan la amplitud teórica y la relación de posición de los picos de una firma. En este caso, las amplitudes y las modulaciones de las señales se estiman de manera conjunta en la forma del siguiente problema de optimización: $\{\hat{C}_1, \dots, \hat{C}_{N_u}, \hat{a}_1, \dots, \hat{a}_{N_u}\} = \underset{C_1, \dots, C_{N_u}, a_1, \dots, a_{N_u}}{\operatorname{argmax}} \kappa$, en el que κ es una función de coste estrictamente monótona según la verosimilitud del conjunto $\{C_1, \dots, C_{N_u}, a_1, \dots, a_{N_u}\}$ de las hipótesis teniendo en cuenta pares {MAp_i, MFp_i} o tripletes {LAp_i, LFp_i, Lqp_i} observados, y $\{\hat{C}_1, \dots, \hat{C}_{N_u}, \hat{a}_1, \dots, \hat{a}_{N_u}\}$ es el conjunto de las modulaciones y de las amplitudes estimadas;
- o incluso, cuando únicamente se deben estimar las modulaciones, un algoritmo basado en la minimización del EQM (Error Cuadrático Medio) entre los diferentes tripletes {LAp_i, LFp_i, Lqp_i} o pares {MAp_i, MFp_i} obtenidos a partir de la señal y(n), y la base de firmas establecida previamente a partir de valores teóricos o experimentales:

$$\{\hat{C}_1, \dots, \hat{C}_{N_u}\} = \min_{C_1, \dots, C_{N_u}} \left\| \Pi - \Pi_{ref}^{C_1, \dots, C_{N_u}} \right\|_2$$

En donde $\{\hat{C}_1, \dots, \hat{C}_{N_u}\}$ representa el conjunto de las modulaciones estimadas para las N_u señales presentes en la banda de frecuencias considerada, $\Pi_{ref}^{C_1, \dots, C_{N_u}}$ representa la base de referencias de las firmas, es decir, los valores de los tripletes {LAp_i, LFp_i, Lqp_i} establecidos previamente para diferentes valores de los parámetros constitutivos de las modulaciones consideradas en la hipótesis $\{C_1, \dots, C_{N_u}\}$ y Π representa el conjunto de los valores de los tripletes {LAp_i, LFp_i, Lqp_i} obtenidos a partir de la señal y(n).

De manera similar, las frecuencias portadoras residuales y las cadencias de símbolos medias se estiman con la ayuda de un método basado en la observación del conjunto de los valores y LFp_i (respectivamente MFp_i). Conjuntamente, se determina de manera eventual el número de señales N_u .

Referencias:

- [Guenther, 2010]: Guenther, B. (2010). Multi-User Signal Classification Via Cyclic (MSc Thesis);
- [Mazo, 1978]: Mazo, J. (1978). Jitter Comparison of Tones Generated by Squaring and by Fourth-Power Circuits. *The Bell System Technical Journal*;
- [Proakis, 2007]: Proakis, J. (2007). *Digital Communication 5th Edition*. McGraw-Hill Education;
- [Reichert Reichert, 1992]: J. (1992). Automatic Classification of Communication Signal using Higher Order Statistics. *IEEE International Conference on Speech, Acoustics and Signal Processing*;
- [Swami y Sadler, 2000]: Swami, A., y Sadler, B. (2000). Hierarchical digital modulation classification using cumulants. *IEEE Transactions on Communications*;
- [Zaerin y Seyfe]: Zaerin, M., y Seyfe, B. (2012). Multiuser modulation classification based on cumulants in additive white Gaussian noise channel. *IET Signal Processing*;
- [Ramkumar, 2009]: Ramkumar (2009) Automatic Modulation Classification for Cognitive Radios using cyclic feature detection, *IEEE Circuits and Systems Magazine*, vol. 9, n.º 2, 1 de abril de 2009;

5

- [Wu, 2012]: Zhikiang Wu *et al.* (2012), Blind Cyclostationary Carrier Frequency and symbol rate estimation for underwater acoustic communication”, IEEE International Conference on Communication, páginas 3482 a 3486;
- [Rebeiz, 2011]: Reibeiz *et al.* (2011), Low Complexity Feature-based Modulation Classifier and its Non-asymptotic analysis, IEEE Global Telecommunications Conference, 5 de diciembre de 2011, páginas 1 a 5.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de estimación de parámetros de una señal sola o de señales mezcladas en frecuencia en una banda dada, comprendiendo el procedimiento las siguientes etapas:

- recepción (E0) de una señal sola o de una mezcla de señales $y(t)$ en una banda de frecuencias dada;
- determinación (E3) para L , que es un número real estrictamente positivo tomado de un conjunto de q , q estrictamente positivo, valores predeterminados $\{L_1; \dots; L_q\}$, de la función de correlación espectral definida a continuación:

$$LSCF_y(f, \alpha) \triangleq \sqrt[L]{|\mathcal{F}_\tau[R_{y^L}(\tau, \alpha)](f)|}$$

en la que

$$R_{y^L}(\tau, \alpha) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^N y^L(n) y^{*L}(n - \tau) e^{-j2\pi\alpha n}$$

es la función de autocorrelación cíclica de la elevación a la potencia L de la versión muestreada $y(n)$ de la señal $y(t)$ y en la que $\mathcal{F}_\tau[\cdot]$ es la transformada de Fourier y en la que, para cada q , α puede adoptar independientemente uno o varios valores discretos y/o recorrer uno o varios intervalos de valores;

- tratamiento (E4) de cada transformación $LSCF_y(f, \alpha)$, siendo L tomada de un conjunto de q , q estrictamente positivo, valores predeterminados $\{L_1; \dots; L_q\}$, para extraer de los mismos un conjunto de picos p_i , es decir de máximos locales detectados según las variables f y α o según la variable única f para cada valor discreto de α , estando cada uno de estos picos caracterizado por un triplete $\{LAp_i, LFP_i, L\alpha p_i\}$ en el que LFP_i y $L\alpha p_i$ son respectivamente la frecuencia y la frecuencia cíclica a la que se sitúa el mismo y LAp_i su amplitud;
- identificación (E5) de grupos de tripletes $\{LAp_i, LFP_i, L\alpha p_i\}$ como la firma dejada por un conjunto de parámetros constitutivos de señales presentes en la banda de frecuencia dada.

2. Procedimiento de estimación según la reivindicación 1, en el que se realiza en primer lugar la etapa de determinación (E3), considerando la frecuencia cíclica α como el valor discreto nulo para identificar unos grupos de tripletes $\{LAp_i, LFP_i, L\alpha p_i, 0\}$, y

- en segundo lugar, seleccionando un conjunto de valores del orden L y de valores discretos o de intervalos de variación de $\alpha \neq 0$ determinados en función de los resultados de la primera aplicación del procedimiento.

3. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 o 2, en el que la raíz L -ésima del módulo de la transformada de Fourier es sustituido en las fórmulas de transformaciones espectrales por cualquier otra potencia o un logaritmo o cualquier otra función real monótona del módulo de la transformada de Fourier.

4. Procedimiento de estimación según una de las reivindicaciones 1 a 3, que comprende además un pretratamiento de la señal recibida que comprende las siguientes subetapas:

- determinación de la densidad espectral de potencia de $y(n)$;
- tratamiento de la densidad espectral de potencia para estimar el nivel de ruido contenido en la mezcla;
- tratamiento de normalización y de centrado de la mezcla de señales a partir de las características obtenidas anteriormente, basándose entonces la determinación de las funciones $LSCF$ para ciertos valores de L tomados de $\{L_1, \dots, L_q\}$, en la mezcla normalizada y centrada.

5. Procedimiento de estimación según una de las reivindicaciones 1 a 4, en el que la identificación (E5) comprende una etapa de comparación de grupos de tripletes $\{LAp_i, LFP_i, L\alpha p_i\}$ obtenidos con firmas predeterminadas de antemano, es decir unos tripletes que corresponden a un juego de hipótesis de parámetros constitutivos de las señales presentes en la mezcla.

6. Procedimiento de estimación según una de las reivindicaciones 1 a 5, en el que la identificación (E5) permite la estimación de las modulaciones y de las amplitudes de las señales utilizando un algoritmo de clasificación de los picos según la frecuencia a la cual están situados los mismos, y después una búsqueda por cálculo de parámetros constitutivos de la mezcla creando unas firmas parecidas a los grupos así formados.

7. Procedimiento de estimación según la reivindicación 5 o 6, en el que la estimación de las modulaciones y de las amplitudes de la mezcla de señales utiliza un algoritmo de búsqueda del máximo de verosimilitud de los picos obtenidos utilizando unos modelos analíticos de firmas y de probabilidad de las desviaciones observadas.
- 5 8. Procedimiento de estimación según la reivindicación 5 o 6, en el que la estimación de las modulaciones de cada una de las señales utiliza un algoritmo que busca el mínimo del Error Cuadrático Medio (EQM) entre los diferentes tripletes o pares y una base de firmas establecida previamente a partir de valores teóricos o experimentales.
- 10 9. Procedimiento de estimación según una de las reivindicaciones anteriores, en el que los valores de L se seleccionan en función de las modulaciones presentes en unas normas de telecomunicaciones consideradas.
- 10 10. Procedimiento de estimación según una de las reivindicaciones 1 a 9, en el que la identificación (E5) permite la estimación de las frecuencias portadoras residuales y de las cadencias de símbolos a partir de los valores LFp_i .
- 15 11. Procedimiento de estimación según una de las reivindicaciones 1 a 10, en el que la identificación (E5) permite la estimación del número de señales N_u a partir de los valores LFp_i .

FIG. 1

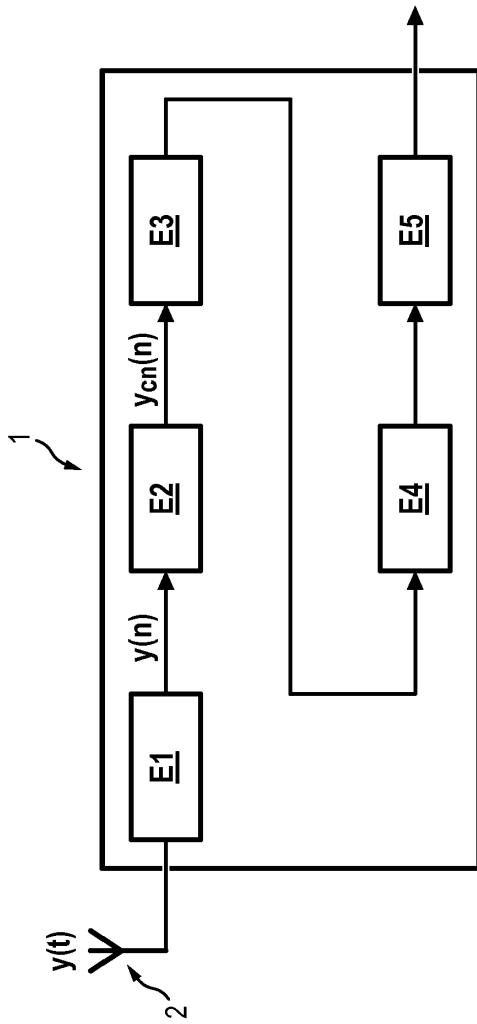


FIG. 2

