

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 664 408**

51 Int. Cl.:

H04B 7/08 (2006.01)

H04B 1/16 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.08.2014 PCT/EP2014/067293**

87 Fecha y número de publicación internacional: **26.02.2015 WO15024828**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.08.2014 E 14752821 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.02.2018 EP 3036841**

54 Título: **Procedimiento de detección de una señal electromagnética por una red de antenas con diversidad de diagrama y dispositivo que implementa el procedimiento**

30 Prioridad:

23.08.2013 FR 1301974

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

19.04.2018

73 Titular/es:

**THALES (100.0%)
Tour Carpe Diem, Place des Corolles, Esplanade
Nord
92400 Courbevoie, FR**

72 Inventor/es:

**LE MEUR, ANNE y
DELABBAYE, JEAN-YVES**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 664 408 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 detección de una señal electromagnética por una red de antenas con diversidad de diagrama y dispositivo que implementa el procedimiento

5 La invención se refiere al ámbito de la detección de transmisiones de radio eléctricas que provienen, en particular, de radares o de sistemas de telecomunicaciones y recibidas por una red de antenas con diversidad de diagrama.

La invención se centra más precisamente en un procedimiento de detección de una señal electromagnética por una red de antenas con diversidad de diagrama, así como un dispositivo para la implementación de este procedimiento.

10 La red de sensores considerada por la invención está constituida por antenas posiblemente no colocalizadas. Las antenas son con diagramas de recepción idénticos o no y sus ejes principales no están orientados en la misma dirección espacial. Este tipo de red de antenas se utiliza, en particular, en el ámbito de la goniometría.

Un problema que hay que resolver en el ámbito de la detección de señales electromagnéticas reside en el desconocimiento, a priori, del tipo de señal interceptada, en particular, su ancho de banda de frecuencia, el tipo de modulación usado o, más generalmente, cualquier parámetro asociado a la forma de onda de la señal.

15 Los procedimientos de detección conocidos se construyen generalmente basándose en el conocimiento a priori de la forma de la señal y usan un filtro adaptado en función de este conocimiento.

No obstante, no es posible implementar filtros adaptados a todos los tipos de señales esperadas.

20 Se han considerado dos grandes tipos de receptores hasta el momento para realizar un seguimiento en una banda de frecuencias muy ancha: cubriendo los receptores permanentemente la banda que se seguirá, que solo detectan las señales de alta potencia y los receptores de banda estrecha, que no permiten cubrir instantáneamente la banda total, pero que se centran en detectar señales de menor potencia y que permiten análisis más precisos de la señal. La presente invención se ubica en la perspectiva de los receptores de banda estrecha.

Existe un problema que resolver para concebir un procedimiento que se adapte a cualquier tipo de señal independientemente de su ancho de banda.

25 Además, existe un problema específico de las redes con diversidad de diagrama, ya que, en un momento dado, la señal no se puede considerar igual, en todos los elementos de antena de la red, que, en una ganancia compleja cerca, no reducible a una fase, que depende de la dirección de llegada de la señal.

30 Además, para elaborar un tratamiento de detección, es importante minimizar las transferencias de datos entre los sensores y un órgano central (que puede ser uno de los sensores) para limitar la complejidad del sistema. Esto implica que es preferente implementar la mayor parte del tratamiento localmente, lo que limita la explotación de la dependencia (o correlación) de las medidas captadas en el mismo momento en dos sensores diferentes.

Los procedimientos tradicionales de detección de señales electromagnéticas se basan, en particular, en las etapas previas siguientes.

35 La recepción de señales se realiza a través de una red de antenas con diversidad de diagrama o, red radiométrica y la demodulación de la señal se realiza por el mismo oscilador local para todos los sensores de la red. Entonces, la señal se muestrea, en cada vía de recepción, en forma real o compleja, después, se aplica uno o varios bancos de filtros, por ejemplo, mediante Transformada de Fourier discreta ponderada. Dicho de otro modo, se aplican varias Transformadas de Fourier discretas desfasadas temporalmente con el fin de realizar una adaptación media a la banda de las señales de interés. Al final de esta operación, llamada análisis de tiempo-frecuencia, la señal se transforma en una cuadrícula de tiempo-frecuencia descompuesta en casillas de tiempo-frecuencias, conteniendo cada casilla el resultado de una transformada de Fourier discreta para un intervalo temporal y un intervalo de frecuencia dados.

40

Un procedimiento de detección conocido consiste en comparar la potencia de la señal, en cada casilla de tiempo-frecuencia, con un umbral de detección dado. Sin embargo, esta toma de decisión casilla por casilla no es óptimo cuando la señal se prolonga en tiempo y/o en frecuencia.

45 De hecho, la hipótesis subyacente a este procedimiento es que la señal se concentra en un número de casillas muy reducido, dicho de otro modo, que la transformada de Fourier discreta usada para efectuar el análisis espectral está adaptada para la banda de la señal. Esta hipótesis no puede ser válida para toda la gama de señales que se tratarán y ningún efecto de integración compensa este defecto. Además, para asegurar un tiempo medio entre falsas alarmas correctas, como hay muchos detectores en paralelo, el umbral de detección es alto, obligando a tener una fuerte relación señal a ruido.

50

Una manera de mejorar los procedimientos anteriormente citados consiste en efectuar una integración en ventajas de tiempo-frecuencia deslizantes, con el fin de concentrar la energía de las señales que se extienden sobre varias casillas. Este paso de un detector de una sola casilla a un detector de casillas múltiples permite beneficiarse de una

ganancia de integración coherente cuando la señal se extiende en varias casillas de tiempo-frecuencia. El límite de este procedimiento se debe, sin embargo, a su carácter de solo una vía y a la adecuación entre el tamaño de la ventana y la extensión de la señal. Si la ventana se subdimensiona, no tiene en cuenta todas las muestras de la señal útil e, inversamente, si se sobredimensiona, integra muestras de ruido y hace bajar la relación de señal a ruido aparente.

Por otra parte, los procedimientos conocidos utilizan generalmente solo una antena para efectuar la detección y, en consecuencia, no explotan toda la información recopilada.

Se conocen igualmente los procedimientos descritos en el documento "Dominique Noguet, CEA-LETI y col.: Sensing techniques for cognitive radio-state of the art and trends-aw chite paper" abril 15, boceto de IEEE; 17 de julio de 2009.

Un objetivo de la presente invención es resolver las limitaciones de las soluciones conocidas y concebir un procedimiento de detección de señales electromagnéticas que no necesita conocimiento a priori del tipo de señal y que puede implantarse en una red de antenas con diversidad de diagrama.

La invención tiene como objeto un procedimiento de detección de una señal electromagnética, llamada señal de interés, capaz de estar contenida en una señal electromagnética recibida por una red de antenas que comprende una pluralidad de elementos de antena indexados por un índice p , comprendiendo dicho procedimiento las siguientes etapas:

- Aplicar a dicha señal electromagnética recibida por cada elemento de antena una pluralidad de transformadas de tiempo-frecuencia con el fin de obtener una representación de dicha señal electromagnética recibida en forma de una pluralidad de casillas de tiempo-frecuencia que contiene cada una el espectro de dicha señal electromagnética recibida para un intervalo de frecuencia y un intervalo temporal datos,
- Para cada casilla de tiempo/frecuencia de un conjunto de casillas dado y para cada vía de recepción de índice p ,

- Calcular la potencia de dicha señal electromagnética recibida,
- Aplicar la función no lineal g_p siguiente al resultado del cálculo de potencia anterior, para anular las casillas de tiempo/frecuencia que solo contienen sustancialmente ruido:

- Si la potencia de dicha señal es inferior o igual a un primer umbral predeterminado t_{0p} , el resultado de la función g_p es cero, dependiendo dicho primer umbral t_{0p} de la probabilidad q de presencia de la señal de interés, de la potencia del ruido térmico y de la potencia de la señal de interés,
- Si la potencia de dicha señal es estrictamente superior a dicho primer umbral t_{0p} , el resultado de la función g_p es igual a la diferencia entre la potencia de dicha señal y dicho primer umbral predeterminado t_{0p} , multiplicada por un coeficiente de ponderación β_p que depende de la potencia de la señal de interés y de la potencia del ruido térmico

- Integrar el resultado de la aplicación de la función no lineal g_p en dicho conjunto de casillas de tiempo-frecuencia,
- Calcular un criterio de detección T integrando el resultado de la etapa de integración anterior en el conjunto de elementos de antena y añadiendo al resultado de esta integración un término correctivo en función de la relación señal a ruido y de la probabilidad q de presencia de la señal de interés en dicha señal electromagnética recibida,
- Comparar el resultado de la integración con un segundo umbral predeterminado, llamado umbral de detección S_{det} , para detectar la presencia de la señal de interés.

Según un aspecto particular de la invención, dicho primer umbral t_{0p} se determina buscando la intersección entre el eje de las abscisas y la asíntota hasta el infinito del logaritmo de la relación de verosimilitud definido como el cociente de las densidades de probabilidades en la hipótesis donde la señal de interés está presente en una casilla de tiempo/frecuencia y en la hipótesis donde la señal de interés está ausente en una casilla de tiempo/frecuencia.

Según un aspecto particular de la invención, la probabilidad q de presencia de la señal de interés y la suma de la potencia del ruido térmico y de la potencia de la señal de interés sobre cada vía se estiman, con ayuda de las siguientes subetapas:

- Calcular los momentos de orden uno y dos de la potencia de la señal medida para cada vía de recepción,
- Identificar los momentos de orden uno y dos calculados en sus valores teóricos para formar un sistema de ecuaciones,
- Resolver dicho sistema de ecuaciones para determinar, para cada vía de recepción, una estimación q_p de dicha probabilidad y una estimación de la inversa de dicha suma,
- Calcular el promedio de las estimaciones q_p de dicha probabilidad en el conjunto de las vías de recepción.

Según un aspecto particular de la invención, la estimación de la inversa de la suma de la potencia del ruido térmico y de la potencia de la señal de interés se perfecciona resolviendo una segunda vez dicho sistema de ecuaciones en el que la probabilidad q desconocida se reemplaza por el promedio de las estimaciones q_p de dicha probabilidad en el conjunto de las vías de recepción.

Según un aspecto particular de la invención, dicho segundo umbral de detección S_{det} se configura para respetar una probabilidad de falsa alarma dada.

Según un aspecto particular de la invención, dicha red de antenas es con diversidad de diagrama.

5 La invención tiene también como objeto un dispositivo para la detección de una señal electromagnética, llamada señal de interés, capaz de estar contenida en una señal electromagnética, comprendiendo dicho dispositivo una red de antenas que comprende una pluralidad de elementos de antenas para la recepción de dicha señal electromagnética y medios configurados para implementar el procedimiento según la invención.

Otras características y ventajas de la presente invención resultarán más evidentes tras la lectura de la descripción que sigue en relación con los dibujos adjuntos que representan:

- 10
- La figura 1, un diagrama de flujo de las etapas de implementación del procedimiento de detección de señales electromagnéticas según la invención,
 - La figura 2, un cuadro sinóptico de un dispositivo para la detección de señales electromagnéticas para una red de antenas con diversidad de diagrama según la invención.

15 El procedimiento de detección de señal según la invención se aplica a las señales de salida del tratamiento de análisis de tiempo-frecuencia efectuado por transformada de Fourier discreta.

Un objetivo de la invención es decidir entre presencia o ausencia de una señal s , llamada señal de interés en lo sucesivo, en presencia de ruido térmico modelizado como una señal aleatoria gaussiana compleja centrada en una densidad espectral constante para cada uno de sus componentes reales e imaginarios que son independientes entre ellos.

20 El principio subyacente de la invención consiste en utilizar la teoría de la decisión estadística que tiene como objetivo la validez de uno de los dos modelos de la señal recibida definidos respectivamente por la presencia de la señal de interés (hipótesis anotada como H_1) o la ausencia de la señal de interés (hipótesis H_0), para optimizar el criterio de Neyman-Pearson, que consiste en maximizar la probabilidad de detección, bajo la restricción de que la probabilidad de falsa alarma es fija.

25 Las hipótesis anteriormente citadas H_1 y H_0 se prueban para una ventana de tiempo-frecuencia deslizante constituida por una pluralidad de casillas. En lo sucesivo, se empleará el índice n en referencia a una casilla de tiempo-frecuencia dada dentro de dicha ventana y se considera que, después del análisis espectral por transformada de Fourier discreta, la señal medida en una casilla de tiempo/frecuencia es independiente de un sensor a otro.

30 La modelización según la invención consiste en considerar que cuando la señal de interés s_{pn} está presente en la casilla de tiempo-frecuencia de índice n del sensor de índice p , se modela por una muestra de una variable aleatoria gaussiana compleja centrada con componentes independientes de varianza $\sigma_p'^2$. Por otra parte, los diferentes valores de la muestra s_{pn} se considerarán como independientes en n y en p . Este modelo no hace ninguna hipótesis de continuidad de fase o de amplitud para ser válido para todas las modulaciones posibles y traduce la incoherencia de fase de un sensor a otro.

35 De este modo, la señal medida por la casilla de tiempo- frecuencia de índice n de la ventana actual y para el sensor de índice p se puede escribir, cuando la señal de interés está presente en la casilla considerada: $x_{pn} = s_{pn} + w_{pn}$, $n = 1, 2, \dots, N$ y $p = 1, 2, \dots, P$ (H_1)

La muestra s_{pn} es de potencia no cero con una probabilidad q , asumida idéntica para todos los sensores de la red y de potencia sustancialmente cero con una probabilidad $1-q$.

40 Cuando la señal de interés está presente en una casilla, se modelizan las muestras s_{pn} como muestras independientes en p y n de variables gaussianas complejas, centradas, tales como: $E(|s_{pn}|^2) = 2\sigma_p'^2$, donde $E()$ designa la expectativa matemática.

Esta modelización tiene en cuenta a la vez el desconocimiento de la modulación de la señal de interés y el desconocimiento de las ganancias de antenas de la red.

45 Las muestras del ruido térmico w_{pn} son muestras independientes en p y n de una variable gaussiana, centrada, compleja, de varianza $2\sigma^2$. Se considera, a continuación que la potencia del ruido térmico σ^2 se conoce.

Cuando la señal está ausente de una casilla de tiempo-frecuencia, el modelo según la invención deviene $x_{pn} = w_{pn}$, $n = 1, 2, \dots, N$ y $p = 1, 2, \dots, P$ (hipótesis H_0).

A continuación, se plantea: $2\sigma_p'^2 = 2\sigma_p'^2 + 2\sigma^2$, la potencia de la señal medida por un sensor de índice p , igual a

la suma de la potencia de la señal de interés y de la potencia del ruido térmico.

En la hipótesis H_1 , la densidad de probabilidad de las medidas x_{pn} se escribe con ayuda de la siguiente relación

$$p_1 = \prod_{p=1}^P \prod_{n=1}^N p_1(x_{pn}) = \prod_{p=1}^P \prod_{n=1}^N \left[\frac{q}{2\pi\sigma_p^2} \exp\left(-\frac{|x_{pn}|^2}{2\sigma_p^2}\right) + \frac{1-q}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{|x_{pn}|^2}{2\sigma^2}\right) \right] \quad (1)$$

5 En la hipótesis H_0 , la densidad de probabilidad de las medidas p_0 se escribe igualmente con ayuda de la relación (1) tomando q igual a 0.

Para realizar un detector óptimo a partir de la relación (1), una dificultad reside en el hecho de que los parámetros de potencia σ_p^2 y de probabilidad q se conocen.

Se plantea, para simplificar, las notaciones, $t_{pn} = |x_{pn}|^2$, $\tau_p = 1/2\sigma_p^2$, $p=1,2,\dots,P$; y $\tau = 1/2\sigma^2$.

Por lo tanto, tenemos $\tau > \tau_p$ para $p=1,2,\dots,P$.

10 Cuando los parámetros τ_p y q se conocen, las pruebas óptimas en el seno del criterio de Neyman-Pearson para decidir entre las hipótesis H_1 y H_0 consiste en comparar con un umbral de detección predeterminado la relación de verosimilitud p_1/p_0 .

Esta relación puede escribirse, con las nuevas anotaciones:

$$\frac{p_1}{p_0} = \prod_{p=1}^P \prod_{n=1}^N \left[q \frac{\tau_p}{\tau} \exp((\tau - \tau_p)t_{pn}) + 1 - q \right] \quad (2)$$

15 La relación (2) puede también escribirse en forma de logaritmo en la forma dada por la relación (3):

$$\left\{ \begin{aligned} \ln \frac{p_1}{p_0} &= \sum_{p=1}^P \sum_n \left[\ln \left(q \frac{\tau_p}{\tau} + 1 - q \right) + \ln \left(\frac{q \frac{\tau_p}{\tau} \exp(\tau - \tau_p)t_{pn} + 1 - q}{q \frac{\tau_p}{\tau} + 1 - q} \right) \right] \\ &= N \sum_{p=1}^P \ln \left(q \frac{\tau_p}{\tau} + 1 - q \right) + \sum_{p,n} \ln \left(\frac{q \alpha_p \exp(\beta_p t_{pn}) + 1 - q}{q \alpha_p + 1 - q} \right) \end{aligned} \right. \quad (3)$$

donde se plantea: $\alpha_p = \tau_p/\tau$, $\beta_p = \tau - \tau_p$
Para α_p y β_p genéricas, anotadas α y β ,

$$\varphi : x \rightarrow \ln \left[\frac{q \alpha \exp(\beta x) + 1 - q}{q \alpha + 1 - q} \right]$$

la función tiene el siguiente comportamiento sobre \mathcal{R}^+ : $\varphi(0) = 0$

$$\varphi(x) \approx \beta x + \ln \frac{q \alpha}{q \alpha + 1 - q} \text{ pour } x \rightarrow \infty.$$

20

$$x_0 = -\frac{1}{\beta} \ln \frac{q \alpha}{q \alpha + 1 - q} \quad (x_0 > 0).$$

Esta asíntota corta el eje de las abscisas en

Aproximando el comportamiento de la función $\varphi(x)$ por su asíntota en $+\infty$ y por la derecha $y=0$, se obtiene la función $g_p(x)$ definida de la siguiente forma

$$g_p(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } 0 \leq x \leq x_0 \\ \beta(x-x_0) & \text{si } x > x_0 \end{cases} .$$

La prueba de detección según la invención consiste en comparar el logaritmo de la relación de verosimilitud p_1/p_0 con un umbral de detección predeterminado.

5 Utilizando la aproximación por la función $g_p(x)$ definida anteriormente en la relación (3), la prueba de detección según la invención consiste en comparar la función T con un umbral de detección predeterminado, con T dada para la relación siguiente.

$$T = N \sum_{p=1}^P \ln(q\alpha_p + 1 - q) + \sum_{p=1}^P \sum_{n=1}^N g_p(t_{pn}) \quad (4)$$

10 Según un modo de realización particular de la invención, en el caso en el que los parámetros τ_p y q son desconocidos, se reemplazan por una estimación. Se describe a continuación un posible procedimiento para estimar estos dos parámetros a partir de las medidas disponibles en las P ventanas de análisis que corresponden a las P vías de recepción.

Los parámetros τ_p y q pueden estimarse explotando únicamente los dos primeros momentos de la variable t_{pn} e igualando la formulación empírica de cada uno de los dos momentos con la expresión real del momento.

Aplicando este procedimiento, se llega al sistema (5) de ecuaciones dado para las relaciones.

$$\begin{cases} m_{1p} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N t_{pn} = \frac{q}{\tau_p} + \frac{1-q}{\tau} = q \left(\frac{1}{\tau_p} - \frac{1}{\tau} \right) + \frac{1}{\tau} \\ m_{2p} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N t_{pn}^2 = \frac{2q}{\tau_p^2} + 2 \cdot \frac{1-q}{\tau^2} = 2q \left(\frac{1}{\tau_p^2} - \frac{1}{\tau^2} \right) + \frac{2}{\tau^2} \end{cases} \quad (5)$$

15

El sistema (5) de ecuaciones consta de 2P ecuaciones para P+1 desconocidos, siendo P el número de elementos de antena de la red. Un procedimiento posible para resolver este sistema consiste en ejecutar las siguientes etapas.

20 Se resuelve el sistema (5) para cada elemento de antena de índice p para reducir de eso una estimación de la probabilidad \hat{q}_p de presencia de la señal de interés en una casilla de tiempo-frecuencia y una primera estimación $\hat{\tau}_p$ del parámetro τ_p .

Se calcula el promedio de las estimaciones \hat{q}_p en el conjunto de los elementos de antena con el fin de deducir de ello la estimación final \hat{q} del parámetro q.

Opcionalmente, se puede perfeccionar la estimación del parámetro τ_p reduciendo la estimación final $\hat{\tau}_p$ en el sistema (5). Se obtiene, de este modo, una segunda estimación $\hat{\tau}_p$.

25 La figura 1 resume, en un diagrama de flujo, las diferentes etapas de implementación del procedimiento de detección de señales electromagnéticas según la invención.

30 En una primera etapa 101, una transformación de tiempo-frecuencia se aplica a las señales recibidas en cada elemento de antena de la red. Más precisamente, se aplica, para cada señal, varias transformadas de Fourier discretas, desfasadas temporalmente, con el fin de obtener una representación de tiempo-frecuencia de la señal en forma de una cuadrícula de casillas de tiempo-frecuencia que contiene cada una el espectro de la señal para un intervalo de frecuencia y un intervalo temporal dados.

En una segunda etapa 102, se calcula la potencia de la señal en cada casilla de tiempo-frecuencia obtenida después de la primera etapa 101. Al final de la segunda etapa 102, se tiene, para cada elemento de antena de índice p y cada casilla de tiempo-frecuencia de índice n, una medida de la potencia t_{pn} de la señal.

35 En una etapa siguiente 104, se aplica la función no lineal g_p a cada medida de potencia t_{pn} calculada en la segunda etapa 102 para eliminar las casillas de tiempo-frecuencia que se supone que solo contienen ruido.

La función no lineal g_p se define con ayuda de las siguientes relaciones:

$$g_p(t_{pn}) = \begin{cases} 0 & \text{si } 0 \leq t_{pn} \leq t_{0p} \\ \beta_p(t_{pn} - t_{0p}) & \text{si } t_{pn} > t_{0p} \end{cases}$$

con $t_{0p} = -\frac{1}{\beta_p} \ln \frac{q\alpha_p}{q\alpha_p + 1 - q}$, $\alpha_p = \hat{\tau}_p/\tau$, $\beta_p = \tau - \hat{\tau}_p$, Como se introdujo anteriormente en la descripción, $\tau = 1/2\sigma^2$ y $\hat{\tau}_p = 1/2\sigma_p^2$ con σ^2 el valor supuesto conocido de la potencia del ruido térmico y σ_p^2 una estimación de la suma de la potencia de la señal de interés y de la potencia del ruido térmico para la señal recibida por el elemento de antena de índice p. El parámetro q es significativo de la probabilidad de presencia de la señal de interés en una casilla de tiempo-frecuencia.

Los parámetros q y $\hat{\tau}_p$ son puntos de entrada de la etapa 104. Se pueden estimar a partir del cálculo de los momentos de orden 1 y 2 de la potencia de la señal en cada vía, tal como se explicó anteriormente o, por cualquier otro procedimiento equivalente.

10 En una etapa 103 opcional, los parámetros q y τ_p se estiman, por lo tanto, por medio de las siguientes subetapas.

En una primera subetapa se calculan los momentos de orden 1 y 2 de la potencia de la señal en cada vía de recepción, dicho de otro modo, el promedio y la varianza sobre la ventana de análisis.

En una segunda subetapa, se resuelve el sistema (5) de ecuaciones para deducir de ello una estimación del parámetro q para cada elemento de antena o sensor y una primera estimación del parámetro τ_p .

15 En una tercera subetapa, se calcula el promedio de las estimaciones del parámetro q sobre el conjunto de los sensores.

Opcionalmente, se perfecciona la primera estimación del parámetro τ_p resolviendo de nuevo el sistema (5) de ecuaciones en el que la desconocida q se ha reemplazado por su estimación calculada en la tercera subetapa.

20 En una etapa 105 siguiente, el resultado de la etapa 104 de no linealidad se integra en el conjunto de casillas de tiempo-frecuencia de la ventana de análisis.

En una etapa 106 siguiente, se construye el criterio de detección T integrando el resultado de la etapa 105 anterior en el conjunto de los sensores y, después, sumando a este resultado un término correctivo. El criterio de detección T puede formularse con ayuda de la relación (4):

$$T = N \sum_{p=1}^P \ln(q\alpha_p + 1 - q) + \sum_{p=1}^P \sum_{n=1}^N g_p(t_{pn}) \quad (4)$$

25 El término correctivo añadido a la integración incoherente de los términos $g_p(t_{pn})$ permiten penalizar las vías de recepción que contienen relativamente menos información útil que otros.

Finalmente, en una última etapa 107, el criterio de detección T se compara con un umbral de detección S_{det} predeterminado para deducir de ello la presencia o la ausencia de señal.

El umbral de detección S_{det} se determina por simulación para respetar una probabilidad de falsa alarma dada.

30 La figura 2 describe un cuadro sinóptico de un dispositivo 200 para la detección de señales electromagnéticas para una red de antenas con diversidad de diagrama según la invención.

35 Tal dispositivo 200 comprende una red de antenas compuesta de una pluralidad de elementos de antenas o sensores $A_1, A_2, A_3, \dots, A_P$. Cada elemento de antena se acopla a una vía de recepción $R_1, R_2, R_3, \dots, R_P$ para, en particular, desmodular y muestrear la señal analógica recibida para cada sensor. A la salida de cada vía de recepción, una transformada de tiempo-frecuencia $DFT_1, DFT_2, DFT_3, \dots, DFT_P$ se aplica, a través de una o varias transformadas de Fourier discretas desfasadas temporalmente. Para cada vía de recepción, esta operación da como resultado la construcción de una cuadrícula de casillas de tiempo-frecuencias que contiene cada una el espectro de la señal para un intervalo temporal y un intervalo de frecuencia dados.

40 Para cada vía de recepción, el dispositivo 200 según la invención comprende, además, un módulo de cálculo de la potencia de la señal para cada casilla de tiempo-frecuencia $CPS_1, CPS_2, \dots, CPS_{P-1}, CPS_P$, y un módulo de tratamiento $NL_1, NL_2, NL_{P-1}, NL_P$ para aplicar la etapa 104 de no linealidad del procedimiento según la invención.

Opcionalmente, el dispositivo 200 consta, igualmente, para cada vía de recepción, de un módulo de estimación $ES_1, ES_2, ES_{P-1}, ES_P$ para estimar los parámetros q y τ_p según la etapa 103 del procedimiento según la invención.

El dispositivo 200 consta, finalmente, de un módulo 201 de cálculo para la construcción del criterio de detección T según las etapas 105 y 106 del procedimiento según la invención y de un módulo 202 de decisión para efectuar la comparación, según la etapa 107, del criterio T con un umbral de detección predeterminado.

5 Los módulos de cálculo del dispositivo 200 según la invención se pueden disponer según diferentes arquitecturas, en particular, cada etapa del procedimiento puede implementarse por un módulo distinto o, al contrario, el conjunto de las etapas puede reagruparse en el seno de un módulo de cálculo único.

10 Cada uno de los módulos de cálculo contenidos en el dispositivo según la invención puede realizarse en forma de software y/o hardware. Cada módulo puede consistir, en particular, en un procesador y una memoria. El procesador puede ser un procesador genérico, un procesador específico, un circuito integrado propio de una aplicación (conocido también bajo el nombre inglés ASIC de "Application-Specific Integrated Circuit") o una red de puertas programables in situ (conocido también bajo el nombre inglés FPGA de "Field-Programmable Gate Array").

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de detección de una señal electromagnética, llamada señal de interés, capaz de estar contenida en una señal electromagnética recibida por una red de antenas que comprende una pluralidad de elementos de antena indexados por un índice p , comprendiendo dicho procedimiento las siguientes etapas:

5 - Aplicar a dicha señal electromagnética recibida por cada elemento de antena una pluralidad de transformadas (101) de tiempo-frecuencia con el fin de obtener una representación de dicha señal electromagnética recibida en forma de una pluralidad de casillas de tiempo-frecuencia que contienen cada una el espectro de dicha señal electromagnética recibida para un intervalo de frecuencia y un intervalo temporal datos,
 10 - Para cada casilla de tiempo/frecuencia de un conjunto de casillas dado y para cada vía de recepción de índice p ,

- Calcular (102) la potencia de dicha señal electromagnética recibida,
- Aplicar (104) la función no lineal g_p siguiente al resultado del cálculo de potencia anterior, para anular las casillas de tiempo/frecuencia que solo contienen sustancialmente ruido:

- Si la potencia de dicha señal es inferior o igual a un primer umbral predeterminado t_{0p} , el resultado de la función g_p es cero, dependiendo dicho primer umbral t_{0p} de la probabilidad q de presencia de la señal de interés, de la potencia del ruido térmico y de la potencia de la señal de interés,
- Si la potencia de dicha señal es estrictamente superior a dicho primer umbral t_{0p} , el resultado de la función g_p es igual a la diferencia entre la potencia de dicha señal y dicho primer umbral predeterminado t_{0p} , multiplicada por un coeficiente de ponderación β_p que depende de la potencia de la señal de interés y de la potencia del ruido térmico

- Integrar (105) el resultado de la aplicación (104) de la función no lineal g_p en dicho conjunto de casillas de tiempo-frecuencia,
- Calcular (106) un criterio de detección T integrando el resultado de la etapa (105) de integración anterior en el conjunto de elementos de antena y añadiendo al resultado de esta integración un término correctivo en función de la relación señal a ruido y de la probabilidad q de presencia de la señal de interés en dicha señal electromagnética recibida,
- Comparar (107) el resultado de la integración con un segundo umbral predeterminado, llamado umbral de detección S_{det} , para detectar la presencia de la señal de interés.

2. Procedimiento de detección de una señal de interés según la reivindicación 1 en el que dicho primer umbral t_{0p} se determina buscando la intersección entre el eje de las abscisas y la asíntota hasta el infinito del logaritmo de la relación de verosimilitud definido como el cociente de las densidades de probabilidades en la hipótesis (H_1) donde la señal de interés está presente en una casilla de tiempo/frecuencia y en la hipótesis (H_0) donde la señal de interés está ausente en una casilla de tiempo/frecuencia.

3. Procedimiento de detección de una señal de interés según la reivindicación 2 en el que la probabilidad q de presencia de la señal de interés y la suma de la potencia del ruido térmico y de la potencia de la señal de interés sobre cada vía se estiman, con ayuda de las siguientes subetapas (103):

- Calcular los momentos de orden uno y dos de la potencia de la señal medida para cada vía de recepción,
- Identificar los momentos de orden uno y dos calculados en sus valores teóricos para formar un sistema de ecuaciones,
- Resolver dicho sistema de ecuaciones para determinar, para cada vía de recepción, una estimación q_p de dicha probabilidad y una estimación de la inversa de dicha suma,
- Calcular el promedio de las estimaciones q_p de dicha probabilidad en el conjunto de las vías de recepción.

4. Procedimiento de detección de una señal de interés según la reivindicación 3 en el que la estimación de la inversa de la suma de la potencia del ruido térmico y de la potencia de la señal de interés se perfecciona resolviendo una segunda vez dicho sistema de ecuaciones en el que la probabilidad q desconocida se reemplaza por el promedio de las estimaciones q_p de dicha probabilidad en el conjunto de las vías de recepción.

5. Procedimiento de detección de una señal electromagnética según una de las reivindicaciones anteriores en el que dicho segundo umbral de detección S_{det} se configura para respetar una probabilidad de falsa alarma dada.

6. Procedimiento de detección de una señal electromagnética según una de las reivindicaciones anteriores en el que dicha red de antenas es con diversidad de diagrama.

7. Dispositivo (200) para la detección de una señal electromagnética, llamada señal de interés, capaz de estar contenida en una señal electromagnética, comprendiendo dicho dispositivo (200) una red de antenas que comprende una pluralidad de elementos de antenas (A_1, \dots, A_p) para la recepción de dicha señal electromagnética y medios configurados para implementar el procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6.

55

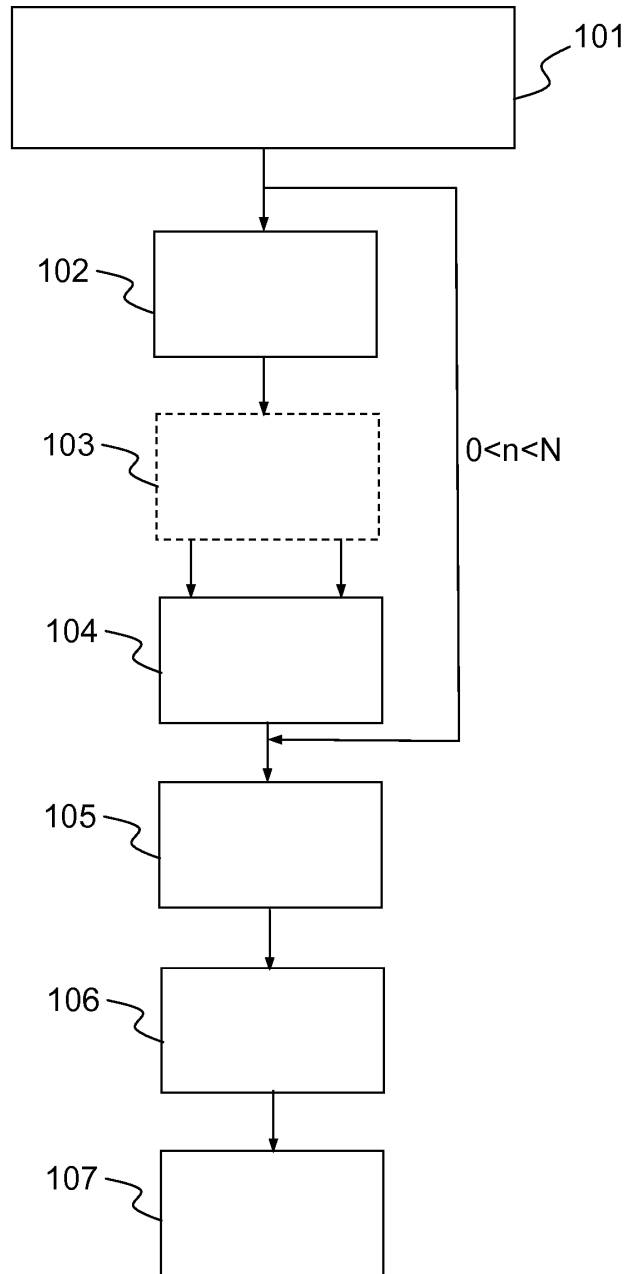


FIG. 1

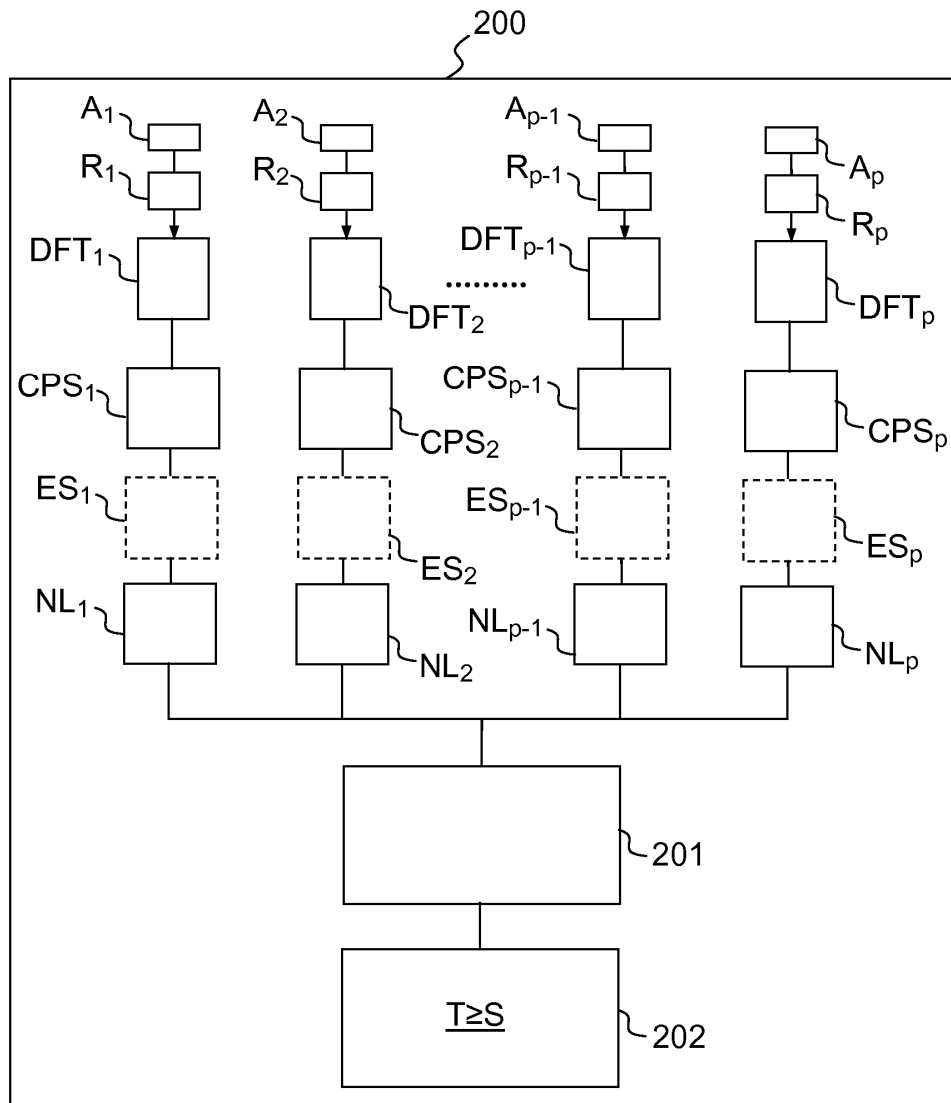


FIG.2