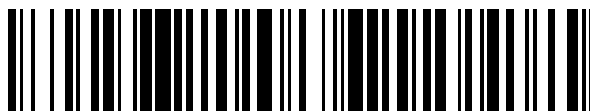


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 587 756**

51 Int. Cl.:

**G01S 7/02** (2006.01)

**G01R 23/15** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.04.2013** **E 13163393 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.05.2016** **EP 2662701**

54 Título: **Procedimiento de secuenciación de un receptor**

30 Prioridad:

**11.05.2012 FR 1201372**

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

**26.10.2016**

73 Titular/es:

**THALES (100.0%)**  
**45, rue de Villiers**  
**92200 Neuilly Sur Seine, FR**

72 Inventor/es:

**LEMOINE, JEAN-MARIE y**  
**DELABBAYE, JEAN-YVES**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 587 756 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 secuenciación de un receptor

El campo de la invención es el de la secuenciación de receptores.

5 El campo de la invención es, en particular, el de la adquisición de información en señales electromagnéticas como señales de radar y/o señales de comunicación. Estas señales pueden, por ejemplo, adquirirse por medio de receptores de tipo ELINT, que significa "Electronic Intelligence" en terminología anglosajona, que permiten adquirir y analizar señales de radar recibidas en una dirección predeterminada o por medio de receptores SIGINT, que significa "Signal Intelligence" en terminología anglosajona, (específicos a la vez para la escucha de las señales de radar y de las señales de comunicación) cuando el receptor no puede cubrir de forma permanente la totalidad del espectro de frecuencias que hay que supervisar.

10 La adquisición de informaciones en una señal necesita dos etapas, una etapa de detección o de adquisición de la señal con una duración, tradicionalmente comprendida entre 50 y 100 ms, suficiente para permitir la implementación de una segunda etapa de análisis de la señal adquirida. La invención se refiere a la etapa de adquisición de las señales y, de manera más particular, a un procedimiento de secuenciación de un receptor (también llamado "scanning strategy" o "sensor-scheduling" en terminología anglosajona). La secuenciación de un receptor es la determinación de una secuencia de consignas de escucha que definen, cada una, una banda de frecuencia de escucha asociada a una duración elemental de escucha durante la cual el receptor debe escuchar dicha banda de frecuencia de escucha.

15 Una de las dificultades ligadas a la etapa de recepción en guerra electrónica viene del hecho de que no se conocen exactamente las características de las señales que se escuchan y de que cada radar emite en una banda de frecuencias relativamente estrecha pero el conjunto de todas las frecuencias portadoras de estos radares ocupa una banda de una anchura considerable: del orden de varios GHz. Por otra parte, para que el receptor presente una buena capacidad para detectar y analizar las señales, se utiliza un receptor de banda estrecha apto para adquirir (o detectar) señales comprendidas en una banda de frecuencias de una anchura similar a la anchura de emisión de los radares incluida su eventual agilidad, es decir inferior o igual a 1 GHz. No se puede considerar, desde el punto de vista económico, utilizar el número de receptores necesarios para cubrir toda la banda de frecuencias de anchura superior a 1 GHz.

20 Se plantea por tanto el siguiente problema: cómo determinar, en función del tiempo, las bandas de frecuencias de escucha sucesivas de un receptor durante una misión de modo que se intercepten lo mejor posible las señales procedentes de radares que emiten durante la misión cuando no se dispone de los recursos de material y de tratamiento suficientes para seguir de forma simultánea las emisiones en toda la banda de frecuencias en la que los radares pueden emitir. Hay que recordar que el objetivo que hay que conseguir es detectar y analizar el máximo de señales presentes en el área de búsqueda.

25 Se han desarrollado algunas soluciones para responder a esta cuestión.

30 En el caso de los receptores ELINT específicos para la escucha de las señales de radar, la secuenciación funciona a menudo en uno de los dos siguientes modos: 1) bien un desarrollo de trama de escucha que es regular y que permanece muy poco tiempo en cada banda de frecuencia, pero que permanece más cuando se encuentra una señal, 2) bien un desarrollo de trama de escucha que es regular, pero permanece mucho tiempo en cada banda para estar seguro de percibir las señales de radar vistas únicamente al pasar el lóbulo. El objetivo de este tipo de barrido es interceptar, a largo plazo, las señales emitidas por todos los radares presentes en el entorno del receptor. Este tipo de secuenciación presenta el inconveniente, para garantizar la interceptación de todas las señales, de necesitar unas misiones de larga duración que son extremadamente caras.

35 El documento Winsor y otros, "Optimisation and evaluation of receiver search strategies for electronic support", IET Radar sonar navigation, the institution of engineering and technology, UK, vol. 6, n.º. 4, 1 de abril de 2012, páginas 233-240, así como los documentos US 2010/027715, US 2005/052311 y US 6 788 243 describen unos procedimientos de secuenciación de receptores en los que se generan unas consignas de escucha sucesivas.

40 El objetivo de la presente invención comprende al menos un objetivo entre los que se mencionan a continuación.

45 Un objetivo es proponer un procedimiento de secuenciación de un receptor que permita optimizar la interceptación de un conjunto de señales electromagnéticas emitidas por un conjunto de fuentes que se encuentran en el entorno del receptor, y que emiten señales en diferentes bandas de frecuencia, de modo que se puede limitar la duración de las misiones. Dicho de otro modo, se busca interceptar un máximo de señales.

50 Por otra parte, se consideran los procedimientos de secuenciación actualmente implementados para interceptar misiones de radar para los radares de barrido circular.

55 Uno de los problemas de las emisiones no permanentes es la sincronización de las escuchas y del paso de los lóbulos delante del receptor (dicho de otro modo, es necesario, para que la interceptación sea exitosa, que el

receptor escuche la banda de frecuencia en la que emite el radar en el momento en que el radar emite una señal en dirección al receptor). Un receptor se puede volver ciego con respecto a un radar si los instantes de escucha del receptor están siempre desplazados con los instantes de paso del lóbulo del radar correspondiente delante del receptor. A continuación en el texto, a este problema se le llama problema de efecto estroboscópico entre las escuchas y las emisiones.

En [1] se da una solución para resolver este problema, que propone utilizar la teoría de las cadenas de Markov: esta solución consiste en escuchar unas bandas de frecuencias en las que emiten unos radares por medio de una cadena de Markov con un número de estados finito que son unas bandas de frecuencias que tienen que ser interceptadas. Sin embargo, este procedimiento de secuenciación presenta el inconveniente de ser complejo ya que es preciso prescribir una distribución de probabilidad inicial y una matriz de probabilidades de transición de una frecuencia a otra.

Otro objetivo de la invención es proponer un procedimiento simplificado de secuenciación de un receptor que permita liberarse de los problemas de estroboscopia.

Por otra parte, el anterior procedimiento de secuenciación se optimiza, como muchos procedimientos de secuenciación actuales, únicamente para la escucha de señales emitidas únicamente mediante un tipo de barrido, en particular los barridos circulares. Estos necesitan grandes conocimientos sobre las señales que hay que interceptar (periodo de rotación del radar, frecuencia emitida).

Ahora bien, pueden estar presentes diferentes tipos de emisiones en el entorno del receptor. Se pueden encontrar emisiones vistas de forma permanente por el receptor (emisiones que solo necesitan un punto de encuentro de frecuencia con el receptor para ser interceptadas por este: la señal llega a ser interceptada por el receptor cuando el receptor escucha una banda de frecuencia que comprende la frecuencia de la señal). A continuación en el texto, se considera que las siguientes emisiones son emisiones permanentes: las emisiones de comunicación y los radares que están lo suficientemente próximos al receptor para ser percibidos de manera permanente por el receptor. También se pueden encontrar emisiones no permanentes percibidas por el receptor únicamente al pasar un lóbulo en una dirección de escucha del receptor. Estas emisiones pueden proceder de fuentes que funcionan según diferentes tipos de barrido: circular, sectorial o electrónico.

Una necesidad que se advierte en la actualidad es optimizar la interceptación de las señales que provienen de un conjunto de fuentes que emiten según diferentes tipos de barrido (emisiones permanentes, barrido circular, barrido sectorial y barrido electrónico).

Otro objetivo es proponer un procedimiento de secuenciación de un receptor que pueda permitir optimizar la interceptación de un conjunto de señales tal como se ha definido con anterioridad.

Otro objetivo es proponer un procedimiento de este tipo que sea sencillo de implementar.

Otro objetivo es proponer un procedimiento de este tipo sin tener conocimientos precisos sobre las señales que se busca interceptar.

Para ello, la invención tiene por objeto un procedimiento de secuenciación de un receptor apto para recibir señales electromagnéticas emitidas en una banda de frecuencia de recepción en un periodo T de escucha de señales, que comprende una etapa de generación de consignas de escucha sucesivas que se tienen que ejecutar de forma sucesiva por el receptor, obteniéndose dichas consignas mediante selección aleatoria sin memoria entre un conjunto de consignas de escucha que definen, cada una, una duración  $e_j$  elemental de escucha, y una banda j de frecuencia de escucha, escogida entre un conjunto J' de bandas de frecuencias de escucha, en la que el receptor debe regular su banda de frecuencia de recepción durante la duración  $e_j$  elemental de escucha, realizándose la selección aleatoria de modo que se cumpla una ley de probabilidad de escucha que define unas probabilidades de escucha del conjunto de las bandas de frecuencia de escucha. De manera más precisa, la selección aleatoria se realiza de modo que se cumpla una ley de probabilidad de escucha que define unas probabilidades de escucha de las bandas de frecuencia de escucha respectivas del conjunto de las bandas de frecuencia de escucha.

De manera ventajosa, la ley de probabilidad  $x_j$  de escucha minimiza una magnitud predeterminada representativa de la proporción de señales no interceptadas, durante el periodo de escucha y por el receptor, entre un conjunto de señales que se supone que tienen que ser interceptadas por el receptor y proceder de un conjunto de fuentes que funcionan según un conjunto B de tipos de barrido que comprende al menos un tipo de barrido b escogido entre un barrido circular, un barrido electrónico, un barrido sectorial y una emisión permanente, y que emiten unas señales que presentan unas frecuencias comprendidas en el conjunto J de bandas j de frecuencia de escucha.

De manera ventajosa, dicho valor de dicha magnitud se determina a partir de una modelización de dicho conjunto de señales por una familia de densidades  $p_{j,b}(\tau)$  de probabilidad expresadas en función de un parámetro  $\tau$  de periodicidad, para una banda j de frecuencia de escucha y un tipo de barrido b dado y a partir de una familia de probabilidades  $\pi_{j,b}$  de presencia, en el conjunto de señales considerado, de señales emitidas con una frecuencia comprendida en una banda j de frecuencia de escucha y procedentes de un tipo de barrido b predeterminado, definiéndose dicha al menos una familia para el conjunto J de bandas j de frecuencias de escucha y para el conjunto

B de tipos de barrido, siendo representativo dicho parámetro  $\tau$  de periodicidad de la duración media, en el periodo T de escucha, entre dos iluminaciones sucesivas del receptor por una señal procedente de una misma fuente en el caso del barrido electrónico, barrido sectorial y barrido circular y siendo la duración  $e_j$  elemental de escucha en el caso de las emisiones permanentes.

5 De manera ventajosa, el conjunto de tipos de barrido comprende varios tipos de barridos.

Según una forma de realización, la magnitud es la probabilidad media de no interceptación de una señal, o de unas señales, en una duración D. La etapa de determinación de la ley de probabilidad comprende una etapa de optimización que consiste en minimizar la probabilidad media de no interceptación.

De manera ventajosa, la duración  $D(\tau)$  es proporcional al parámetro  $\tau$  de periodicidad.

10 De manera ventajosa, la etapa de optimización se realiza con las siguientes limitaciones:

$$\alpha > \frac{1}{J'-1} \left( J' \text{Max}_j (\ln \pi_j) - \sum_{k=1}^{J'} \ln \pi_k \right) \text{ y } \alpha > \frac{\sum_{k=1}^{J'} \ln \pi_k - J' \text{Max}_j (\ln \pi_j)}{J'}$$

$J' J'$  donde  $\pi_j$  et  $\pi_k$  pertenecen al intervalo ]0 ; 1], donde  $\sum_{j=1}^{J'} \pi_j = 1$  y  $\sum_{k=1}^{J'} \pi_k = 1$  y donde  $\alpha$  es la relación entre la duración  $D(\tau)$  y el parámetro de periodicidad.

De manera ventajosa, la probabilidad media de no interceptación es:  $\sum_{j=1}^{J'} \pi_j G_j(x_j)$  donde

15  $G_j(x_j) = \int_0^{\infty} e^{-x_j D(\tau)/\tau} p_j(\tau) d\tau$  y donde  $p_j(\tau)$  es una densidad de probabilidad de presencia, donde  $\pi_j$  pertenece al intervalo ]0 ; 1] y donde  $\sum_{j=1}^{J'} \pi_j = 1$ .

De manera ventajosa, la probabilidad media de no interceptación es:

$$\sum_{j=1}^{J'} \pi_j G_j(x_j) \text{ donde } G_j(x_j) = \int_0^{\infty} (1-x_j)^{2[D(\tau)/2\tau]} \left( 1 - \frac{D(\tau)}{2\tau} x_j + \left[ \frac{D(\tau)}{2\tau} \right] x_j \right) p_j(\tau) d\tau,$$

20 donde  $p_j(\tau)$  es una densidad de probabilidad de presencia, donde  $\pi_j$  pertenece al intervalo ]0 ; 1] y donde  $\sum_{j=1}^{J'} \pi_j = 1$ .

De manera ventajosa, la probabilidad media de no interceptación es:  $\sum_{j=1}^{J'} \pi_j G_j(x_j)$ , donde

$G_j(x_j) = \int_0^{\infty} (1-x_j)^{[D(\tau)/\tau]} p_j(\tau) d\tau,$  donde  $p_j(\tau)$  es una densidad de probabilidad, donde  $\pi_j$  pertenece al intervalo ]0 ; 1] y donde  $\sum_{j=1}^{J'} \pi_j = 1$ .

De manera ventajosa, la probabilidad media de no interceptación es  $\sum_{j=1}^{J'} \pi_j (1-x_j)^{[D(\tau)/\tau]}$  donde  $\tau_j$  pertenece al

25 intervalo ]0 ; 1] y donde  $\sum_{j=1}^{J'} \pi_j = 1$ .

De manera ventajosa, la probabilidad media de no interceptación es:

$$H(x_j) = H1(x_j) + H2(x_j) \text{ o } H1(x_j) \text{ o } H2(x_j)$$

donde  $H1(x_j) = \sum_{b1} \sum_{j=1}^{J'} (\pi_{j,b1} (1-x_j)^{\alpha_{b1}})$  y donde  $H2(x_j) = \pi_{j,elec} e^{-\alpha_{elec} x_j}$ , donde  $\pi_{j,b1}$  y  $\pi_{j,elec}$  pertenecen al intervalo ]0 ; 1] y donde  $\sum_{j=1}^{J'} \pi_{j,elec} + \sum_{j=1}^{J'} \sum_{b1} \pi_{j,b1} = 1$ .

De manera ventajosa, la ley de probabilidad es:  $x_j = \frac{1}{J'} + \frac{1}{\alpha} \left( \ln \pi_j - \frac{1}{J'} \sum_{k=1}^{J'} \ln \pi_k \right)$  para  $j = 1$  a  $J'$ , donde  $\alpha$  es

5  $\sum_{j=1}^{J'} \pi_j = 1$  positivo, y donde  $\pi_j$  y  $\pi_k$  pertenecen al intervalo ]0 ; 1] y donde

$$x_j = 1 - \left( \frac{1}{\pi_j} \right)^{\frac{1}{\alpha-1}} \frac{J'-1}{\sum_{k=1}^{J'} \left( \pi_k \frac{1}{1-\alpha} \right)}$$

De manera ventajosa, la ley de probabilidad de escucha es:  $J'$  donde  $\alpha$  es un entero superior a 2 y donde  $\pi_j$  y  $\pi_k$  pertenecen al intervalo ]0 ; 1] y donde

$$\sum_{j=1}^{J'} \pi_j = 1 \text{ y } \sum_{k=1}^{J'} \pi_k = 1.$$

10 Según otra forma de realización, la magnitud es la duración media entre dos interceptaciones consecutivas, por el receptor, de una señal. La media se realiza en el conjunto de frecuencia, en el conjunto de tipos de barridos y en un área de parámetro de periodicidad. De manera ventajosa, la duración media entre dos interceptaciones es:

$$K = \sum_{j=1}^{J'} \frac{\tau_j}{x_j} \text{ donde } \tau_j \text{ es la media del parámetro de periodicidad, realizada en el conjunto de tipos de barridos.}$$

$$x_j = \frac{\sqrt{\tau_j}}{\sum_{k=1}^{J'} \sqrt{\tau_k}} ; \quad j = 1, 2, \dots, J'$$

15 De manera ventajosa, la ley de probabilidad de escucha es: donde  $\tau_j$  y  $\tau_k$  corresponden a las medias del parámetro de periodicidad, realizadas en el conjunto de tipos de barridos para la parte de índice  $j$  y respectivamente de índice  $k$ .

20 En una forma particular de realización, el procedimiento comprende una etapa de pretratamiento que comprende una etapa de determinación de densidades  $p_{j,b}(\tau)$  de probabilidad y/o de probabilidades  $\pi_{j,b}$  de presencia, a partir de áreas de interés definidas para los tipos de barridos  $b$  del conjunto  $B$  y que se extienden, en un área frecuencia-parámetro de periodicidad en un eje de frecuencias  $f$  y en un eje de parámetro  $\tau$  de periodicidad para el barrido circular, el barrido sectorial y el barrido permanente, y para las emisiones permanentes, en el eje de frecuencias, estando cada área de interés asociada a un grado de prioridad.

25 De manera ventajosa, la etapa de pretratamiento comprende una etapa que consiste en dividir el eje de las frecuencias en un segundo conjunto de bandas de frecuencias de índice  $m$  siendo  $m = 1$  a  $M$  donde  $M$  es al menos igual a  $J'$  y, el eje de los parámetros de periodicidad en bandas de parámetros de periodicidad, de modo que se delimitan unas casillas que ocupan, cada una, una segunda banda de frecuencia de índice  $M$ , una banda de parámetro de periodicidad y,

30 - para cada tipo de barrido del conjunto  $B$  que pertenece al conjunto formado por el barrido electrónico, barrido circular y barrido sectorial, una primera etapa de acumulación en la que se asocia a cada casilla del área frecuencia-parámetro de periodicidad asociado a dicho tipo de barrido, un primer producto que corresponde al producto de la proporción de dicha casilla que está cubierta por un área de interés definida para dicho tipo de barrido y del grado de interés que está asociado a dicha área de interés;

- cuando el conjunto B comprende unas emisiones permanentes, una segunda etapa de acumulación en la que se asocia a cada segunda banda de frecuencia, un segundo producto que corresponde al producto de la proporción de dicha segunda banda de frecuencia que está cubierta por un área de interés definida para las emisiones permanentes y del grado de interés que está asociado a dicha área;
  - 5 - una etapa de cálculo de una suma global que corresponde a la suma, de la suma de los primeros productos realizada en todos los tipos de barrido del conjunto B que pertenece al conjunto formado por el barrido circular, el barrido sectorial y el barrido electrónico, y de los segundos productos;
  - una etapa de normalización que consiste en calcular la relación entre los primeros productos respectivos y la suma global y entre los dos segundos productos respectivos y la suma global.
- 10 De manera ventajosa, el procedimiento comprende, para al menos un tipo de barrido del conjunto B escogido entre el barrido circular, el barrido sectorial y el barrido electrónico, una etapa de cálculo de probabilidades de presencia en el entorno del receptor de señales emitidas con una frecuencia comprendida en cada segunda banda de frecuencia y procedentes del barrido considerado al sumar las relaciones, entre los primeros productos y la suma global, obtenidas para dicha segunda banda de frecuencia y para el barrido considerado.
- 15 De manera ventajosa, se seleccionan las posiciones y anchuras de las segundas bandas de frecuencia, conociendo un valor máximo de la anchura de la banda de frecuencia de recepción del receptor, de manera que se minimiza el número de segundas bandas de frecuencia que presentan una anchura igual o inferior al valor máximo de la anchura de la banda de frecuencia de recepción y que están al menos parcialmente cubiertas por un área de interés definida para uno cualquiera de los barridos del conjunto B.
- 20 Se mostrarán otras características y ventajas de la invención con la lectura de la descripción detallada que viene a continuación, hecha a título de ejemplo no limitativo y en referencia a los dibujos adjuntos, en los que:
- la figura 1 representa de manera esquemática una situación de escucha, mediante un sistema de escucha según la invención, de su entorno electromagnético;
  - la figura 2 representa de manera esquemática, en función del tiempo, una secuencia de consignas de escucha ejecutadas por un receptor así como las bandas de frecuencia de escucha asociadas en un periodo T;
  - 25 - la figura 3 representa de manera esquemática las etapas sucesivas implementadas en un ejemplo de realización del procedimiento según la invención;
  - las figuras 4a y 4b representan los instantes de iluminación de un receptor por unas señales procedentes de una fuente que lleva a cabo un barrido circular en el sentido de la flecha representada en la figura 4a;
  - 30 - la figura 5a representa un radar que lleva a cabo un barrido sectorial y la figura 5b representa, en un eje temporal, unos instantes sucesivos de un receptor por una señal emitida por el radar de barrido sectorial;
  - la figura 6 representa un conjunto de curvas  $f(x)$ , en función de  $x$ , definiéndose las curvas para diferentes valores de  $\alpha$ ;
  - la figura 7 representa un ejemplo de etapas que se pueden implementar para realizar la etapa de selección aleatoria;
  - 35 - la figura 8 representa un conjunto de áreas de interés en un plano frecuencia-parámetro de periodicidad;
  - las figuras 9a a 9d representan de manera esquemática un ejemplo de división del plano frecuencia-parámetro de periodicidad y unas áreas de periodicidad definidas para el barrido circular, el barrido sectorial y respectivamente el barrido electrónico, así como unas áreas de interés y un ejemplo de división del eje de las frecuencias para las emisiones permanentes;
  - 40 - la figura 10 representa de manera esquemática otro ejemplo de división del plano frecuencia-parámetro de periodicidad.

De una figura a otra, los mismos elementos se identifican con las mismas referencias.

- 45 En la figura 1, se ha representado una situación de recepción, o de escucha, mediante un sistema de recepción o de escucha según la invención. El sistema de escucha comprende un receptor 1, de un conjunto de señales Sa, Sb, Sc electromagnéticas emitidas por diferentes fuentes 4a, 4b, 4c situadas en el entorno del receptor. Este receptor es apto para recibir unas señales de radar y/o de comunicación.

50 El receptor 1 es apto para recibir unas señales electromagnéticas comprendidas en una banda de frecuencia de recepción que presenta una anchura que puede ser fija o variable y que está comprendida en un área de frecuencia de recepción más ancha.

La anchura de la banda de frecuencia de recepción es tradicionalmente inferior o igual a 1 GHz. El área de frecuencias de recepción se extiende tradicionalmente en varios GHz.

- 55 El receptor 1 puede barrer el área de frecuencia de recepción desplazando su banda de frecuencia de recepción al área de frecuencias de escucha, es decir desplazando la frecuencia central de su banda de frecuencia de recepción en el área de frecuencia de recepción.

El sistema de recepción comprende, además, unos medios 2 de secuenciación aptos para determinar unas consignas de escucha sucesivas que se supone que tienen que ser, es decir que tiene que ejecutarlas el receptor 1

de forma consecutiva. Cada consigna de escucha define una duración elemental de escucha y una banda de frecuencia de escucha asociada en la que el receptor se supone que debe, es decir está destinado a regular su banda de frecuencia de recepción a lo largo de la duración elemental de escucha. Dicho de otro modo, el receptor se supone que debe, es decir está destinado a hacer que coincida su banda de frecuencia de recepción con la banda de frecuencia de escucha que este ejecuta. Esto supone que la anchura de las bandas de frecuencia de escucha definidas por las consignas no es superior a la anchura de la banda de frecuencia máxima de recepción del receptor. Cada banda de frecuencia de escucha está definida por una anchura de banda y una frecuencia central de escucha. Está delimitada por una frecuencia mínima y una frecuencia máxima comprendidas en la banda de frecuencia de recepción. La anchura de la banda de frecuencia de escucha es la diferencia entre la frecuencia máxima y la frecuencia mínima.

El sistema de recepción comprende, además, unos medios de control del receptor 3 aptos para transmitir de manera sucesiva las consignas de escucha sucesivas al receptor de modo que este ejecute de manera sucesiva las consignas de escucha. Dicho de otro modo, el receptor regula de manera sucesiva su banda de frecuencia de recepción en las bandas de frecuencia de escucha sucesivas a lo largo de las duraciones de escucha asociadas. Las consignas de escucha pueden ser unas consignas de escucha consecutivas que debe realizar el receptor de manera consecutiva. En este caso, cuando el receptor ha terminado de ejecutar una consigna de escucha, este ejecuta la siguiente consigna de escucha.

A continuación en el texto, se asocia un índice  $j$  a cada banda de frecuencia que pertenece a un conjunto  $J$  de  $J'$  frecuencias de escucha.  $j$  es un entero que puede adoptar los valores enteros comprendidos que van de 1 a  $J'$  que corresponden al número de bandas de frecuencia efectivamente escuchadas por el receptor. Las bandas de frecuencia de escucha están de manera ventajosa separadas. Estas también pueden recubrirse parcialmente (lo que significa que la frecuencia máxima de una banda de índice  $j$  puede ser inferior a la frecuencia mínima de una banda de índice  $j+1$ ). Estas no presentan todas necesariamente la misma anchura. La frecuencia máxima de una banda de frecuencia de escucha y la frecuencia mínima de la banda de frecuencia de escucha de índice superior pueden estar distanciadas en el eje de las frecuencias o bien ser iguales.

En la figura 2, hemos representado los índices de bandas  $j$  de frecuencia de escucha en las que el receptor regula de manera consecutiva su banda de frecuencia de recepción en función del tiempo  $t$  durante un periodo  $T$  de escucha. Todas estas bandas de frecuencia de escucha presentan la misma anchura. En este ejemplo, la duración  $\epsilon$  elemental de escucha es fija, es la misma para todas las bandas  $j$  de frecuencias de escucha. El intervalo de tiempo entre las escuchas de dos bandas de frecuencia de escucha sucesivas es nulo o insignificante con respecto a la duración de escucha. Las consignas  $C_g$  de escucha asociadas, siendo  $g = 1, \dots, G'$  donde  $G' = 9$  indicadas con el valor del índice  $g$ . Cada una de estas comprende una duración elemental de escucha que presenta el mismo valor  $\epsilon$  y el índice  $j$  de una banda de frecuencia de escucha.

La invención también tiene por objeto un procedimiento de secuenciación del receptor para determinar unas consignas de escucha consecutivas en un periodo  $T$  de escucha predeterminado.

En la figura 3, se han representado de manera esquemática las etapas sucesivas implementadas en un ejemplo de realización de un procedimiento de control de un receptor según la invención que comprende las etapas del procedimiento 10 de secuenciación según la invención.

Este procedimiento comprende una etapa 110 de generación de secuencias de consignas  $C_g$  de escucha,  $g = 1, \dots, G$ , es decir de consignas de escucha consecutivas de índice  $g$ .  $g$  es el número de orden temporal de la consigna.

Cada consigna de escucha define una banda  $j$  de frecuencia de escucha y una duración  $\epsilon_j$  elemental de escucha asociada. En esta etapa 110, las consignas  $C_g$  de escucha consecutivas se obtienen mediante selección aleatoria sin memoria entre un conjunto de consignas de escucha  $(\epsilon_j, j)$  siendo  $j = 1$  a  $J'$  de modo que se cumpla una ley de probabilidad de escucha. Dicho de otro modo, el salto de una consigna de escucha a la siguiente consigna de escucha se determina mediante selección aleatoria sin relación de una selección a otra.

La ley de probabilidad de escucha define, para cada banda de frecuencia de escucha de índice  $j$  del conjunto de las bandas  $j$  de frecuencia de escucha siendo  $j = 1$  a  $J'$ , una probabilidad  $X_j$  de escucha que corresponde a la probabilidad de escuchar dicha banda  $j$  de frecuencia de escucha durante el periodo  $T$  de escucha. La probabilidad de escucha es no nula para todas las bandas de frecuencia de escucha del conjunto de frecuencias de escucha.

El procedimiento según la invención presenta varias ventajas. Permite limitar la duración de las misiones determinando una secuencia de bandas de frecuencia de escucha cumpliendo con una ley de probabilidad de escucha de una multitud de bandas de frecuencia. La utilización de la selección aleatoria también permite liberarse de los problemas de estroboscopia descritos con anterioridad. Este método presenta la ventaja de ser mucho más simple que el método basado en las cadenas de Markov. Por otra parte, este no provoca, como lo veremos a continuación en la descripción, ninguna complicación si se desea optimizar la interceptación de señales procedentes de fuentes que funcionan según diferentes tipos de barrido.

En el caso en el que la duración  $\epsilon_j$  elemental de escucha es única, es decir la misma sea cual sea el índice  $j$  de la

banda de frecuencia de escucha, la probabilidad de escucha de una banda de frecuencia de escucha corresponde a la probabilidad de volver a visitar la banda de frecuencia de escucha considerada por el receptor.

5 En este caso, el hecho de seleccionar una consigna  $C_g$  de escucha entre un conjunto  $(\epsilon_j, j)$  de consignas de escucha siendo  $j = 1$  a  $J'$  que corresponden a unos pares de bandas de frecuencia de escucha y de duración de escucha equivale a seleccionar de forma aleatoria una banda de frecuencia de escucha entre el conjunto de bandas de frecuencias de escucha ( $j = 1$  a  $J'$ ).

En una variante, la duración  $\epsilon_j$  elemental de escucha depende del índice  $j$ .

10 De manera ventajosa, la ley de probabilidad de escucha del conjunto de bandas  $j$  de frecuencia de escucha siendo  $j = 1$  a  $J'$  minimiza una magnitud predeterminada representativa de la proporción de señales no interceptadas durante el periodo  $T$  de escucha por el receptor 1 entre un conjunto de señales que se supone que se emiten en el entorno del receptor. Dicho de otro modo, esta ley optimiza un criterio predeterminado representativo de la calidad de la interceptación. El conjunto de señales se supone que procede de un conjunto de fuentes que funcionan según un conjunto de tipos de barrido que comprende al menos un tipo de barrido escogido entre un barrido circular, un barrido electrónico, un barrido sectorial, una emisión permanente, y que emite unas señales que presentan unas frecuencias comprendidas en el conjunto de banda de frecuencias de escucha. Dicho de otro modo, una hipótesis básica define un conjunto de señales que debe interceptar el receptor. Este conjunto de señales, según una hipótesis básica, procede de un conjunto de tipos de barridos predefinido.

15 Por frecuencia de una señal, se entiende su frecuencia central o su portadora. Las emisiones de radar ágiles en frecuencia emiten unos pulsos que no todos tienen la misma frecuencia, sino que se reparten en una banda de agilidad alrededor de una frecuencia central.

De este modo, se obtiene un procedimiento que optimiza la interceptación de un conjunto de señales procedentes de emisores que utilizan diferentes tipos de barrido y no solo barridos circulares. De manera más precisa, la secuenciación obtenida optimiza la interceptación de un conjunto de señales procedentes de un conjunto de fuentes que funcionan según una multitud de tipos de barridos y que emiten señales en diferentes bandas de frecuencia.

25 Para determinar la ley de probabilidad de escucha del conjunto de las bandas  $j$  de frecuencias de escucha siendo  $j = 1$  a  $J'$ , se optimiza por lo tanto un criterio representativo de la calidad de la interceptación de un conjunto de señales a partir de datos de entrada.

30 Hay que señalar que el receptor intercepta una señal con barrido circular, sectorial o electrónico cuando este escucha una banda  $j$  de frecuencia de escucha que comprende una frecuencia utilizada por la señal y cuando la señal se emite en dirección al receptor. Existe entonces un punto de encuentro en tiempo y en frecuencia.

Estos datos de entrada comprenden una modelización del conjunto de señales por una densidad de probabilidad de presencia según tres variables  $p(f, b, \tau)$ . Las tres variables comprenden la frecuencia  $f$  de las señales, el tipo de barrido  $b$  del cual proceden las señales y un parámetro  $\tau$  de periodicidad. El parámetro  $\tau$  de periodicidad se define de la siguiente manera:

- 35
- corresponde, para el barrido circular, el barrido electrónico y el barrido sectorial, a la duración media entre dos iluminaciones del receptor por una señal emitida por una misma fuente;
  - corresponde, para las emisiones permanentes, a la duración  $\epsilon_j$  elemental de escucha.

40 La densidad de probabilidad utilizada para la modelización del conjunto de señales expresa, bien los conocimientos a priori de tipo estadístico que se tienen sobre la situación táctica (proporción de presencia de señales en función de  $f, b, \tau$ ), bien lo que se busca en una misión y la prioridad que se asigna a cada emisión (prioridad de búsqueda de las señales en función de  $f, b, \tau$ ). Esta no necesita conocimientos precisos de las señales que se busca interceptar.

45 La densidad de probabilidad con tres variables no se utiliza como tal. Esta se discretiza en frecuencias, en el conjunto de las bandas  $j$  de frecuencias de escucha siendo  $j = 1$  a  $J'$ , y en tipo de barrido  $b$  en un conjunto  $B$  de tipos de barrido que comprende uno o varios tipos de barridos  $b$  escogidos entre las emisiones permanentes (para las que  $b = \text{perm}$ ), y el barrido circular (para el que  $b = \text{circ}$ ), el barrido sectorial (para el que  $b = \text{sect}$ ) y el barrido electrónico (para el que  $b = \text{elec}$ ), esto es  $B = \{\text{perm y/o circ y/o sect y/o elec}\}$ .

La densidad de probabilidad de presencia es no nula, en el área de frecuencias, únicamente en el conjunto de las bandas  $j$  de frecuencia de escucha ( $j = 1$  a  $J'$ ).

Según las fórmulas de Bayes, esta densidad de probabilidad discretizada es equivalente a:

- 50
- una familia de densidades  $p_{j,b}(\tau)$  de probabilidad de presencia, en el conjunto de señales, expresadas en función de un parámetro  $\tau$  de periodicidad, y definidas para los conjuntos de bandas  $j$  de frecuencia de escucha y de tipos de barrido  $B$ ;
  - y una familia de probabilidades  $\pi_{j,b}$  de presencia, en el conjunto de señales, de señales emitidas con una frecuencia comprendida en una banda  $j$  de frecuencia de escucha predeterminada y que proceden de un tipo de



barrido b predeterminado, estando dichas probabilidades de presencia definidas para el conjunto de las bandas j de frecuencia de escucha siendo j = 1 a J' y para el conjunto de los tipos de barrido tenido en cuenta en la aplicación considerada.

5 A continuación se va a describir de manera más precisa la etapa 100 de determinación de la ley de probabilidad de escucha, también llamada ley de secuenciación, en el caso en el que el criterio de optimización es la minimización de la probabilidad  $M(x_j)$  media de no interceptación de una señal en una duración D. Dicho de otro modo, la magnitud representativa de la proporción de señales no interceptadas durante el periodo T de escucha y por el receptor 1 es la probabilidad media de no interceptación de una señal en una duración D ( $D \leq T$ ). Esta media se realiza en el conjunto de bandas j de frecuencia de escucha y en el conjunto B de tipos de barrido considerado y en el área de parámetros  $[0 ; +\infty[$  de periodicidad.

10 El problema que hay que resolver es el cálculo de una ley de probabilidad  $x_j$  de escucha para cada una de las bandas de frecuencia ( $j = 1, \dots, J'$ ) que minimice la probabilidad media de no interceptación de una señal en una duración  $D(\tau)$  que puede depender o no del parámetro  $\tau$  de periodicidad. Se considera a continuación en el texto que la probabilidad de escucha  $x_j$  de cada una de las bandas j de frecuencia de escucha siendo j = 1 a J' es no nula. Las bandas de frecuencia de escucha son unas bandas de frecuencia que tienen efectivamente que ser escuchadas por el receptor.

Caso de la escucha de señales procedentes de un barrido electrónico (por ejemplo unos radares de barrido electrónico)

20 En el caso de la escucha de unos radares de barrido electrónico, las iluminaciones sucesivas del receptor pueden modelizarse mediante un proceso de Poisson de parámetro  $1/\tau$ , siendo  $\tau$  el parámetro de periodicidad que designa el intervalo de tiempo medio entre dos iluminaciones sucesivas.

25 Se muestra que la probabilidad de no interceptación, en una duración D, por un receptor que escucha una banda de frecuencia de índice j con una probabilidad  $x_j$ , de una señal emitida con una frecuencia comprendida en la banda de frecuencia de índice j por una fuente que lleva a cabo un barrido electrónico caracterizado por un parámetro  $\tau$  de periodicidad viene dado por la siguiente expresión:

$$f_{elec}(j, D, \tau) = e^{-x_j D(\tau) / \tau}$$

De manera general, la ley de probabilidad  $x_j$  de escucha para cada una de las bandas de frecuencia ( $j = 1, \dots, J'$ ) es la ley de probabilidad que minimiza la probabilidad media de no interceptación definida con anterioridad. Se escribe

$$G_{j,elec}(x_j) = \int_0^{\infty} e^{-x_j D(\tau) / \tau} p_{j,elec}(\tau) d\tau$$

30  $p_{j,b}(\tau)$  es una densidad de probabilidad de presencia. Es aquí la densidad de probabilidad de presencia, en el entorno del receptor, de señales emitidas con una frecuencia comprendida en la banda j de frecuencia y procedente de un barrido b (aquí b = elec), entre el conjunto de señales emitidas en el entorno del receptor, expresándose dicha densidad de presencia en función del parámetro  $\tau$  de periodicidad, y donde  $G_{j,b}(x_j)$  es la probabilidad media de no interceptación, realizada en el parámetro de periodicidad, de una señal emitida con una frecuencia comprendida en la banda de frecuencia de índice j y procedente de un barrido b (aquí b = elec), para una probabilidad  $x_j$  de escucha dada de la banda j.

35 Cuando se supone que el conjunto de las señales emitidas en el entorno del receptor procede de un barrido electrónico, la etapa 100 de determinación de la ley de probabilidad comprende una etapa de optimización que consiste en minimizar la media de  $G_{j,elec}(x_j)$ , en el conjunto de las bandas j de frecuencias siendo j = 1 a J', es decir que minimiza la probabilidad media de no interceptación expresada de la siguiente manera

$$M(x_j) = \sum_{j=1}^{J'} \pi_{j,elec} G_{j,elec}(x_j),$$

40 donde  $\pi_{j,b}$  es la probabilidad de presencia, en el conjunto de señales emitidas en el entorno del receptor, de señales emitidas con una frecuencia comprendida en la banda j de frecuencia y que proceden de un barrido b. Aquí, b = elec.

El problema de optimización consiste, por lo tanto, en buscar la ley de probabilidad  $x_j$  de presencia que minimiza la probabilidad de no interceptación, esto es:

$$Min_{x_j} \sum_{j=1}^{J'} \pi_{j,elec} G_{j,elec}(x_j).$$

45 La solución de esta etapa de optimización minimiza la probabilidad de no interceptación de señales emitidas

procedentes de un barrido electrónico

Ahora bien, en el caso en el que se supone que el conjunto de las señales emitidas en el entorno del receptor procede de un barrido electrónico,  $\pi_{j,elec} = \pi_j$  donde  $\pi_j$  es la probabilidad de presencia, en el conjunto de señales emitidas en el entorno del receptor, de señales emitidas con una frecuencia comprendida en la banda  $j$  de frecuencia. Esta probabilidad  $\pi_j$  se obtiene, de manera general, sumando en el conjunto  $B$  de tipos de barrido, las probabilidades de presencia  $\pi_{j,b}$  definidas para dicha banda de frecuencia de escucha de índice  $j$ . Aquí, el conjunto

$$\sum_{j=1}^{J'} \pi_j = 1.$$

$B$  comprende un único tipo de barrido que es el barrido electrónico.  $\pi_j$  pertenece al intervalo  $]0; 1]$  y

Por otra parte, en este caso,  $G_{j,elec}(x_j) = G_j(x_j)$  donde  $G_j(x_j)$  es la probabilidad media de no interceptación, realizada en el parámetro de periodicidad, de una señal emitida con una frecuencia comprendida en la banda de frecuencia de índice  $j$ , cuando la probabilidad de escucha de la banda  $j$  es  $x_j$ .

Por último,  $p_{j,elec}(\tau) = p_j(\tau)$  donde  $p_j(\tau)$  es una densidad de probabilidad de presencia. Es aquí la densidad de probabilidad de presencia de señales emitidas con una frecuencia comprendida en la banda  $j$  de frecuencia, entre el conjunto de señales emitidas en el entorno del receptor, expresándose dicha densidad de presencia en función del parámetro  $\tau$  de periodicidad.

La probabilidad media de no interceptación es, en este caso:

$$M(x_j) = \sum_{j=1}^{J'} \pi_j G_j(x_j) \quad \text{donde} \quad G_j(x_j) = \int_0^{\infty} e^{-x_j D(\tau)/\tau} p_j(\tau) d\tau.$$

El problema de optimización consiste, por lo tanto, en encontrar la ley de probabilidad que minimice la probabilidad media de no interceptación, esto es:

$$\text{Min}_{x_j} \sum_{j=1}^{J'} \pi_j G_j(x_j).$$

El problema de optimización se puede realizar con las siguientes limitaciones:

$$\sum_{j=1}^{J'} x_j = 1 \quad \text{y} \quad \forall j \quad 0 \leq x_j \leq 1.$$

Desde el punto de vista matemático, una  $x_j$  puede ser igual a 0 o 1 puesto que  $x_j$  es una probabilidad. Sin embargo, estos valores hay que excluirlos del área de las limitaciones ya que conducen a situaciones paradójicas desde un punto de vista operativo. En efecto  $x_j = 0$  corresponde al caso en el que el operario manifiesta la voluntad de explorar los radares de la banda  $j$  estableciendo  $\pi_{j,elec} \neq 0$  puesto que  $j$  está en  $1, 2, \dots, J'$ , y la respuesta de la secuenciación es que ¡nunca se visitará la banda  $j$ ! Esta solución optimiza sin duda el criterio, pero no es aceptable operativamente. Lo mismo sucede para  $x_j = 1$  para una  $j$  en  $1, 2, \dots, J'$  siendo  $J' > 1$ : esto excluye todas las demás bandas que se desea explorar.

En definitiva, cuando  $J' > 1$ , es preciso imponer  $0 < x_j < 1$ ; lo que se expresa por el hecho de que el criterio debe

$$\sum_{j=1}^{J'} x_j = 1.$$

tener un mínimo en el área con la única limitación de igualdad

La solución del problema de optimización la da la minimización del lagrangiano  $L(x_j, \lambda)$  de la probabilidad  $M(x_j)$  media de no interceptación que se explica en [2]:

$$L(x_j, \lambda) = \sum_{j=1}^{J'} \pi_j G_j(x_j) + \lambda \left( \sum_j x_j - 1 \right)$$

donde  $\lambda$  es un parámetro de Lagrange que conduce al sistema de ecuaciones:

$$\begin{cases} \frac{\partial G_j(x_j)}{\partial x_j} + \lambda = 0 & j = 1, 2, \dots, J' \\ \sum_{j=1}^{J'} x_j = 1 \end{cases}$$

Estas ecuaciones solo están acopladas por  $\lambda$  y son, por lo tanto, bastante fáciles de resolver. La solución pasa por una valoración numérica de la integral  $G_j(x_j)$  y de su derivada.

La solución es única y es un mínimo (la matriz de las derivadas segundas es positiva).

- 5 Para los demás tipos de barrido que se tratarán a continuación en el texto, hay que resolver el mismo tipo de ecuaciones.

En los casos prácticos, se puede introducir una relación entre la duración  $D(\tau)$  y el parámetro  $\tau$  de periodicidad. Se considera, por ejemplo, que  $D(\tau)$  es una función creciente de  $\tau$ . Esto permite simplificar la etapa de optimización.

- 10 Se puede proponer  $D(\tau) = \alpha_j \tau$  ( $\alpha_j > 0$ ), o de manera más simple  $D(\tau) = \alpha \tau$  ( $\alpha > 0$ , coeficiente de proporcionalidad independiente de la banda  $j$ ). Dicho de otro modo, la relación entre la duración  $D(\tau)$  y el parámetro  $\tau$  de periodicidad es positiva. Se dan los cálculos en este último caso.

Si tenemos, por lo tanto,  $\alpha = D(\tau)/\tau$ , y observamos  $J'$  el número de sub-bandas tal que  $x_j$  es no nula, la resolución en este caso se hace minimizando el criterio de optimización. Dicho de otro modo, se busca determinar una ley de probabilidad  $X_j$  que verifique:

15 
$$\text{Min}_{x_j} \sum_{j=1}^{J'} (\pi_j e^{-\alpha x_j}) \quad \text{con la limitación} \quad \sum_{j=1}^{J'} x_j = 1$$

Al introducir un parámetro  $\lambda$  de Lagrange, se buscan las  $x_j$  minimizando el lagrangiano:

$$\sum_{j=1}^{J'} (\pi_j e^{-\alpha x_j}) + \lambda \left( \sum_{j=1}^{J'} x_j - 1 \right) \quad ;$$

lo que da el valor explícito de las  $x_j$  para  $j = 1$  a  $J'$ .

$$x_j = \frac{1}{J'} + \frac{1}{\alpha} \left( \ln \pi_j - \frac{1}{J'} \sum_{k=1}^{J'} \ln \pi_k \right) \quad \text{[E1]}$$

- 20 Donde  $\pi_k$  es la probabilidad de presencia de señales que presentan una frecuencia comprendida en la banda de frecuencia de escucha de índice  $k$ . Esta se obtiene sumando, en el conjunto  $B$  de tipos de barrido, las probabilidades de presencia  $\pi_{j,b}$  definidas para dicha banda de frecuencia de índice  $k$ . Aquí el conjunto  $B$  comprende un único tipo

$$\sum_{k=1}^{J'} \pi_k = 1.$$

de barrido  $b = \text{elec}$ . En resumen  $\pi_k$  pertenece al intervalo  $]0 ; 1]$  y

- 25 Se muestra también que, para cada banda  $j$  de frecuencia, la duración media entre dos interceptaciones consecutivas, por el receptor, de una señal procedente de una fuente que realiza un barrido electrónico caracterizado por el parámetro  $\tau$  de periodicidad es  $\tau/x_j$  cuando la secuenciación se lleva a cabo mediante selección aleatoria sin memoria según la ley de probabilidad dada por la fórmula [E1]. Este valor es considerado, por el experto en la materia, como el ideal de la interceptación.

- 30 Caso de la escucha de señales procedentes de un barrido circular (por ejemplo un conjunto de radares de barrido circular)

Las figuras 4a y 4b representan los instantes de iluminación de un receptor 1 por unas señales procedentes de una fuente 4circ que lleva a cabo un barrido circular en el sentido de las flechas de la figura 4a.

Cuando una fuente funciona según un barrido circular, esta ilumina al receptor a intervalos de tiempo regulares. El

intervalo de tiempo que separa dos iluminaciones sucesivas es igual al parámetro  $\tau$  de periodicidad. Este parámetro de periodicidad es, por ejemplo, igual al periodo de rotación de la fuente que es una antena de un radar.

Se muestra que la probabilidad de no interceptación, en una duración  $D(\tau)$ , por un receptor que escucha una banda de frecuencia de índice  $j$  con una probabilidad  $x_j$ , de una señal emitida con una frecuencia comprendida en la banda de frecuencia de índice  $j$  y que procede de un barrido circular caracterizado por un parámetro  $\tau$  de periodicidad viene dada por la siguiente expresión:

5

$$f_{circ}(j, D, \tau) = (1 - x_j)^{[D(\tau)/\tau]}$$

con  $[D(\tau)/\tau]$  designando la parte entera de  $D(\tau)/\tau$ .

Se escribe

$$G_{j,circ}(x_j) = \int_0^{\infty} f_{circ}(j, D, \tau) p_{j,circ}(\tau) d\tau$$

- 10 Cuando se supone que el conjunto de las señales emitidas en el entorno del receptor procede de un barrido circular, la etapa 100 de determinación de la ley de probabilidad comprende una etapa de optimización que consiste en minimizar la media de  $G_{j,circ}(x_j)$ , en el conjunto de las bandas  $j$  de frecuencias siendo  $j =$  de 1 a  $J$ , es decir que minimiza la probabilidad media de no interceptación expresada de la siguiente manera:

$$M(x_j) = \sum_{j=1}^J \pi_{j,circ} G_{j,circ}(x_j)$$

- 15 El problema de optimización consiste, por lo tanto, en buscar la ley de probabilidad  $x_j$  siendo  $j = 1, \dots, J'$  que verifica

$$\text{Min}_{x_j} \sum_{j=1}^{J'} \pi_{j,circ} G_{j,circ}(x_j).$$

La solución de esta etapa de optimización minimiza la probabilidad de no interceptación de señales emitidas procedentes de un barrido circular.

Ahora bien, en el caso en el que se supone que el conjunto de las señales emitidas en el entorno del receptor procede de un barrido circular,  $\pi_{j,circ} = \pi_j$ ,  $G_{j,circ}(x_j) = G_j(x_j)$  y  $p_{j,circ}(\tau) = p_j(\tau)$ .

- 20 La probabilidad media de no interceptación es, por lo tanto, en este caso:

$$M(x_j) = \sum_{j=1}^{J'} \pi_j G_j(x_j) \quad \text{donde} \quad G_j(x_j) = \int_0^{\infty} (1 - x_j)^{[D(\tau)/\tau]} p_j(\tau) d\tau$$

El problema de optimización consiste, por lo tanto, en encontrar la ley de probabilidad que minimiza la probabilidad media de no interceptación, esto es:

$$M(x_j) = \text{Min}_{x_j} \sum_{j=1}^{J'} \pi_j G_j(x_j).$$

$$\sum_{j=1}^{J'} x_j = 1.$$

- 25 El problema de optimización se realiza con la siguiente limitación, como se ha visto con anterioridad:

Al seleccionar  $\alpha = D(\tau)/\tau$  constante y entero, la probabilidad media de no interceptación se expresa de la siguiente manera:

$$M(x_j) = \sum_{j=1}^{J'} (\pi_j (1 - x_j)^\alpha)$$

La resolución en este caso se hace determinando una ley de probabilidad  $x_j$  que verifica:

$$\text{Min}_{x_j} \sum_{j=1}^{J'} (\pi_j (1-x_j)^\alpha) \quad \alpha \text{ entero positivo, con la limitación} \quad \sum_{j=1}^{J'} x_j = 1$$

Al introducir un parámetro X de Lagrange, se buscan las x<sub>j</sub> minimizando el lagrangiano de la probabilidad media de no interceptación que es:

$$\sum_{j=1}^{J'} (\pi_j (1-x_j)^\alpha) + \lambda \left( \sum_{j=1}^{J'} x_j - 1 \right)$$

5 Esto conduce a los siguientes valores de x<sub>j</sub> para j = 1, ..., J':

$$x_j = 1 - \left( \frac{1}{\pi_j} \right)^{\frac{1}{\alpha-1}} \frac{J'-1}{\sum_{k=1}^{J'} \left( \pi_k \frac{1}{1-\alpha} \right)} \quad \text{[E2]}$$

Caso de la escucha de señales emitidas desde una fuente que lleva a cabo un barrido sectorial (por ejemplo un conjunto de radar de barrido sectorial)

10 En la figura 5a se ha representado una fuente 4sect que lleva a cabo un barrido sectorial en un sector que presenta un ángulo S de apertura y los instantes (0, 2τ, 4τ) y (τ, 3τ, 5τ) de emisión respectivos de la irradiación según las direcciones d1 y d2 extremas respectivas que delimitan el sector. 2τ corresponde, por lo tanto, al tiempo que emplea el radar 4 para barrer en ambos sentidos el sector de ángulo S. El parámetro τ de periodicidad es, por lo tanto el medio periodo ida-vuelta del barrido del sector S. En el eje que une la fuente 4sect y el receptor 1, se han señalado los instantes de iluminación del receptor 1 por la señal emitida por el radar. φ es el intervalo de tiempo entre la  
15 iluminación del receptor y el cambio de sentido del barrido.

En la figura 5b, se han colocado en el eje t temporal unos instantes t1, t2, t3, t4, t5, t6 sucesivos de iluminación del receptor 1 por una señal emitida por el radar 4sect de barrido sectorial.

20 Se muestra que la probabilidad de no interceptación, en una duración D, por un receptor que escucha una banda de frecuencia de índice j con una probabilidad x<sub>j</sub>, de una señal emitida con una frecuencia comprendida en la banda de frecuencia de índice j y que procede de un barrido sectorial caracterizado por un parámetro τ de periodicidad viene

dada por la siguiente expresión:

$$f_{sect}(j, D, \tau) = (1-x_j)^{2[D(\tau)/2\tau]} \left( 1 - \frac{D(\tau)}{2\tau} x_j + \left[ \frac{D(\tau)}{2\tau} \right] x_j \right), \text{ donde}$$

$\left[ \frac{D(\tau)}{2\tau} \right]$  designa la parte entera de D/2τ.

25 El cálculo se hace considerando una duración D(τ) de no interceptación bien a partir de una iluminación interceptada por el receptor en τ-φ, bien a partir de una iluminación interceptada por el receptor en τ+φ y suponiendo que estos casos tienen las mismas probabilidades.

Se escribe

$$G_{j,sect}(x_j) = \int_0^\infty f_{sect}(j, D(\tau), \tau) p_{j,sect}(\tau) d\tau .$$

30 Cuando se supone que el conjunto de las señales emitidas en el entorno del receptor procede de un barrido sectorial, la etapa 100 de determinación de la ley de probabilidad comprende una etapa de optimización que consiste en minimizar la media de G<sub>j,sect</sub>(x<sub>j</sub>), en el conjunto de las bandas j de frecuencias siendo j = 1 a J', es decir que minimiza la probabilidad media de no interceptación expresada de la siguiente manera

$$M(x_j) = \sum_{j=1}^{J'} \pi_{j,sect} G_{j,sect}(x_j),$$

El problema de optimización consiste, por lo tanto, en buscar la ley de probabilidad  $x_j$  de presencia que minimiza la probabilidad de no interceptación, esto es:

$$\text{Min}_{x_j} \sum_{j=1}^{J'} \pi_{j, \text{sect}} G_{j, \text{sect}}(x_j).$$

- 5 La solución de esta etapa de optimización minimiza la probabilidad de no interceptación de señales emitidas procedentes de un barrido sectorial. Ahora bien, en el caso en el que se supone que el conjunto de las señales emitidas en el entorno del receptor procede de un barrido sectorial,  $\pi_{j, \text{sect}}$ ,  $G_{j, \text{sect}}(x_j) = G_j(x_j)$  y  $p_{j, \text{sect}}(\tau) = p_j(\tau)$ .

La probabilidad media de no interceptación es, por lo tanto, en este caso:

$$M(x_j) = \sum_{j=1}^{J'} \pi_j G_j(x_j)$$

- 10 donde

$$G_j(x_j) = \int_0^{\infty} (1-x_j)^{2[D(\tau)/2\tau]} \left( 1 - \frac{D(\tau)}{2\tau} x_j + \left[ \frac{D(\tau)}{2\tau} \right] x_j \right) p_j(\tau) d\tau.$$

El problema de optimización consiste, por lo tanto, en encontrar la ley de probabilidad que minimiza la probabilidad media de no interceptación, esto es:

$$\begin{aligned} \text{Min}_{x_j} \sum_{j=1}^{J'} \pi_j G_j(x_j) = \\ \text{Min}_{x_j} \sum_{j=1}^{J'} \pi_j \int_0^{\infty} (1-x_j)^{2[D(\tau)/2\tau]} \left( 1 - \frac{D(\tau)}{2\tau} x_j + \left[ \frac{D(\tau)}{2\tau} \right] x_j \right) p_j(\tau) d\tau \end{aligned}$$

- 15 El problema de optimización se realiza con la siguiente limitación, como hemos visto con anterioridad:  $\sum_{j=1}^{J'} x_j = 1$ .

A continuación se da un ejemplo de resolución de este problema de optimización para  $\alpha = D(\tau)/\tau$  constante, entero y par.

La probabilidad media de no interceptación se expresa de la siguiente manera:  $\sum_{j=1}^{J'} (\pi_j (1-x_j)^\alpha)$

La resolución en este caso se hace determinando la ley de probabilidad  $X_j$  que verifica:

20 
$$\text{Min}_{x_j} \sum_{j=1}^{J'} (\pi_j (1-x_j)^\alpha) \quad \alpha \text{ entero } \geq 2, \text{ con la limitación } \sum_{j=1}^{J'} x_j = 1$$

La solución viene dada por la ecuación [E2].

Caso de señales emitidas desde una fuente que emite según una emisión permanente

Se trata de las señales detectables de manera permanente (señales de comunicación o de radar vistas en las reflexiones difusas).

- 25 Más abajo se explica la resolución del problema de optimización en el caso en el que la duración  $\epsilon$  elemental de escucha es única, es decir la misma para todas las bandas de frecuencia. Sin embargo, el experto en la materia

puede aplicar fácilmente este método para resolver el problema de optimización en el caso en el que la duración  $\epsilon_j$  elemental de escucha es una función de la banda  $j$  de frecuencia.

La probabilidad de no interceptación, en una duración  $D(\tau)$ , por un receptor que escucha una banda de frecuencia de índice  $j$  con una probabilidad  $X_j$  a lo largo de una duración  $\epsilon$  elemental, de una señal emitida con una frecuencia comprendida en la banda de frecuencia de índice  $j$  y que procede de una emisión permanente viene dada por la siguiente expresión:

$$f_{j,perm}(j, D, \tau) = (1 - x_j)^{[D(\tau)/\tau]}$$

designando  $[D(\tau)/\tau]$  la parte entera de  $D(\tau)/\tau$ .

El parámetro  $\tau$  de periodicidad es igual a la duración  $\epsilon$  elemental de escucha.

10 Se escribe  $G_{j,perm}(x_j) = \int_0^{\infty} f_{perm}(j, D, \tau) p_{j,perm}(\tau) d\tau$ . Por otra parte,  $P_{j,perm}(\tau)$  es una distribución de Dirac para  $\tau = \epsilon$ , por tanto:

$$G_{j,perm}(x_j) = f_{perm}(j, D, \tau)$$

15 Cuando se supone que el conjunto de las señales emitidas en el entorno del receptor procede de una emisión permanente, la etapa 100 de determinación de la ley de probabilidad comprende una etapa de optimización que consiste en minimizar la media de  $G_{j,perm}(X_j)$ , en el conjunto de las bandas  $j$  de frecuencias siendo  $j = 1$  a  $J'$ , es decir que minimiza la probabilidad media de no interceptación expresada de la siguiente manera:

$$: M(x_j) = \sum_{j=1}^{J'} \pi_{j,perm} G_{j,perm}(x_j),$$

El problema de optimización consiste, por lo tanto, en buscar la ley de probabilidad  $x_j$  de presencia que minimiza la probabilidad de no interceptación, esto es:

20 
$$\text{Min}_{x_j} \sum_{j=1}^{J'} \pi_{j,perm} G_{j,perm}(x_j).$$

La solución de esta etapa de optimización minimiza la probabilidad de no interceptación de señales emitidas procedentes de una emisión permanente.

Ahora bien, en el caso en el que se supone que el conjunto de las señales emitidas en el entorno del receptor procede de una emisión permanente,  $\pi_{j,perm} = \pi_j$ . Por otra parte, en este caso,  $G_{j,perm}(x_j) = G_j(x_j)$ .

25 El problema de optimización consiste, por lo tanto, en encontrar la ley de probabilidad que minimiza la probabilidad media de no interceptación, esto es:

$$\text{Min}_{x_j} \sum_{j=1}^{J'} \pi_j (1 - x_j)^{[D(\tau)/\tau]}.$$

$$\sum_{j=1}^{J'} x_j = 1.$$

El problema de optimización se realiza con la siguiente limitación, como hemos visto con anterioridad:

Tomando  $\alpha = D(\tau)/\tau$  constante y entero, la resolución en este caso se hace calculando:

30 
$$\text{Min}_{x_j} \sum_{j=1}^{J'} (\pi_j (1 - x_j)^\alpha) \quad \alpha \text{ entero } \geq 2, \text{ con la limitación } \sum_{j=1}^{J'} x_j = 1$$

La solución viene dada por la ecuación [E2].

Se muestra que, para cada banda  $j$  de frecuencia, la duración media entre dos interceptaciones consecutivas, por el receptor, de una señal procedente de una emisión permanente, o de un barrido circular o sectorial, definida por su parámetro  $\tau$  de periodicidad es:  $\tau/x_j$ , cuando la secuenciación se lleva a cabo mediante elección aleatoria sin memoria según la ley de probabilidad dada por la fórmula [E2].

5 Optimización en el caso general

Se recuerda que la ley de probabilidad  $X_j$  de escucha para  $j = 1$  a  $J'$  se calcula minimizando la probabilidad  $M(x_j)$  media de no interceptación de una señal en una duración  $D(\tau)$ . Esta media se realiza en el conjunto de las bandas  $j$  de frecuencia de escucha y en el conjunto  $B$  de los tipos de barrido considerados y en el área de parámetros  $[0 ; +\infty[$  de periodicidad.

10 Dicho de otro modo, cuando se tienen en cuenta diferentes tipos de barrido, se minimiza la probabilidad media de no interceptación en todos los tipos de barridos que se desea considerar.

De manera más precisa, se busca determinar la ley de probabilidad  $X_j$  que minimiza la suma, realizada en el conjunto  $B$  de los tipos de barrido considerados, de la probabilidad media de no interceptación, por el receptor, de una señal emitida con una frecuencia  $j$  comprendida en una banda  $j$  de frecuencia de escucha (escogida entre el conjunto de bandas de frecuencia de escucha) y procedente de un tipo de barrido (escogido entre el conjunto  $B$  de los tipos de barrido considerados), realizándose dicha media en el área del parámetro de periodicidad y en el conjunto de las bandas de frecuencia de escucha.

15 Dicho de otro modo, el criterio que hay que minimizar es una suma ponderada, por la probabilidad de presencia de una señal que presenta una frecuencia comprendida en la banda  $j$  de frecuencia de escucha, en todos los tipos de barrido considerados de forma independiente.

20 Dicho de otro modo, la ley de probabilidad  $X_j$  de escucha para cada una de las bandas de frecuencia ( $j = 1, \dots, J'$ ) es la ley de probabilidad que permite obtener el mínimo de la probabilidad  $H$  media de no interceptación.

$$H(x_j) = \sum_b \sum_{j=1}^{J'} \pi_{j,b} G_{j,b}(x_j), \quad \sum_b$$

Esta media es sea cual sea  $j = 1$  a  $J'$ , donde  $\sum_b$  es la suma de los tipos de barrido comprendidos en  $b$  el conjunto  $B$  de los tipos de barrido considerado.

25 En el caso en el que la función  $D(\tau)$  es proporcional al parámetro de periodicidad, sea cual sea el tipo de barrido, la probabilidad media de no interceptación se expresa de la siguiente manera:  $H(x_j) = H1(x_j) + H2(x_j)$  o  $H1(x_j)$  o  $H2(x_j)$ , donde

$$H1(x_j) = \sum_{b1} \sum_{j=1}^{J'} (\pi_{j,b1} (1-x_j)^{\alpha_{b1}}) \quad H2(x_j) = \pi_{j,elec} e^{-\alpha_{elec} x_j},$$

y donde

30 donde  $\sum_{b1}$  es la suma realizada en los tipos de barrido que pertenecen a un subconjunto  $B1$  de tipos de barrido {circ y/o sect y/o perm}. Dicho de otro modo, el subconjunto  $B1$  comprende al menos un tipo de barrido escogido entre el barrido circular, el barrido sectorial y las emisiones permanentes y donde  $\pi_{j,b1}$  es la probabilidad de presencia, en el conjunto de señales emitidas en el entorno del receptor, de señales emitidas con una frecuencia comprendida en la banda  $j$  de frecuencia y procedentes de un barrido  $b1$ . Dicho de otro modo,  $\pi_{j,b1}$  y  $\pi_{j,elec}$  pertenecen

$$\sum_{j=1}^{J'} \pi_{j,elec} + \sum_{j=1}^{J'} \sum_{b1} \pi_{j,b1} = 1.$$

35 al intervalo  $]0 ; 1]$  y  $\alpha_{b1}$  es la relación entre la duración de escucha y el parámetro de periodicidad.  $\alpha_{elec}$  es igual a la relación entre la duración de escucha y al parámetro de periodicidad.

El problema de optimización consiste en encontrar la ley de probabilidad que minimiza esta media con las siguientes

$$\sum_{j=1}^{J'} x_j = 1$$

limitaciones  $y 0 < x_j < 1.$

40 Es una minimización de una función con una limitación de igualdad y un conjunto de limitaciones de desigualdades. El experto en la materia sabe resolver este tipo de problema de optimización utilizando, por ejemplo, los métodos descritos en [3] o [2] (métodos lagrangianos). A continuación damos un ejemplo de resolución en el caso en el que se tienen en cuenta todos los tipos de barrido, es decir que:



$$H(x_j) = \pi_{j,elec} G_{j,elec}(x_j) + \pi_{j,circ} G_{j,circ}(x_j) + \pi_{j,sect} G_{j,sect}(x_j) + \pi_{j,perm} G_{j,perm}(x_j)$$

sea cual sea  $j = 1$  a  $J'$ .

Si  $J'$  vale 1, se escucha una única banda con una  $X_j$  que vale 1 (caso trivial). Si  $J' > 1$ , el siguiente método es un ejemplo de cálculo de las  $x_j$  no nulas.

- 5 Derivando la función  $H$  con respecto a las  $X_j$  se obtiene, para  $j = 1, \dots, J'$ :

$$\frac{\partial H}{\partial x_j} = -F_j(x_j)$$

Un cálculo de derivada muestra que las  $F_j(x_j)$  son unas funciones decrecientes para  $0 \leq x_j \leq 1$ .

La resolución se hace mediante iteraciones sucesivas, hasta que se alcanza un umbral de precisión en las  $X_j$ .

Principio de resolución del sistema de ecuaciones

- 10 Si observamos  $X$  el vector columna de dimensión  $J'$  constituido por unos  $J'$  valores  $x_j$ :

$$X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_{J'} \end{bmatrix}$$

la resolución consiste en encontrar, mediante iteraciones sucesivas, un vector  $X$  que vuelve mínima la expresión

$$H(X) \text{ cumpliendo al mismo tiempo con las limitaciones } \sum_{j=1}^{J'} x_j = 1 \text{ y } \forall j \ 0 < x_j < 1.$$

El valor inicial  $X^0$  se fija en:

$$X^0 = \begin{bmatrix} x_1^0 \\ \dots \\ x_j^0 \\ \dots \\ x_{J'}^0 \end{bmatrix} \text{ siendo } x_j^0 = 1/J' \text{ para } j = 1, \dots, J'$$

15

Este valor tiene la propiedad de estar en el plano que cumple con la limitación  $\sum_{j=1}^{J'} x_j = 1$  y de estar en la parte del espacio que cumple con las limitaciones de desigualdades  $0 < x_j < 1$ .

Los siguientes valores se calculan, como veremos más abajo, mediante un descenso de gradiente con la limitación

$$V = Grad(H(X^i)) = \begin{bmatrix} -F_1(x_1^i) \\ \dots \\ -F_j(x_j^i) \\ \dots \\ -F_{J'}(x_{J'}^i) \end{bmatrix}$$

de la igualdad  $\sum_{j=1}^{J'} x_j = 1$  y de las desigualdades  $0 < x_j < 1$ . El vector indica la dirección de mayor pendiente para minimizar  $H$ .

20

El vector  $U = \left( \frac{1}{\sqrt{J'}}, \frac{1}{\sqrt{J'}}, \dots, \frac{1}{\sqrt{J'}} \right)^T$  es el vector unitario ortogonal al plano de ecuación  $\sum_j x_j = 1$  en el espacio de las  $X_j$  para  $j = 1, \dots, J'$ . El vector  $W = V \cdot (U^T V) U$  es la proyección en el plano  $\sum_{j=1}^{J'} x_j = 1$  de la dirección de mayor pendiente para minimizar H. Este vector tiene unos componentes que se escriben:

$$w_j = v_j - \frac{1}{J'} \sum_k v_k = -F_j(x_j^i) + \frac{1}{J'} \sum_k F_k(x_k^i)$$

5 Para pasar de una etapa i a una etapa i+1, se calcula:

$$X^{i+1} = X^i - s^i W^i$$

El valor  $s^i$  es un valor de paso estrictamente positivo para desplazarse en la dirección  $W$ .

10 La elección de  $s^i$  está limitada por las desigualdades  $0 < x_j < 1$  para  $j = 1, \dots, J'$ . El conjunto de las desigualdades da un intervalo admisible para  $s^i$ . Se selecciona  $s^i$  que minimiza H entre un conjunto de valores probados en el intervalo admisible para  $s^i$ . La detención de las iteraciones de descenso de gradiente tiene lugar cuando se realiza una de las siguientes condiciones:

- se alcanza un número máximo de iteraciones;
- la norma del gradiente  $\|Grad(H(X))\|$  es inferior a un umbral.

15 Esto da los valores  $x_j$  que son las probabilidades de escucha de las diferentes bandas j de frecuencia de escucha. En una realización particular, se puede imponer  $D(\tau) = \alpha \tau$  siendo  $\alpha$  constante, entero y par.

En este caso:

$$H(x_j) = \pi_{j,elec} e^{-\alpha_{elec} x_j} + \pi_{j,circ} (1-x_j)^{\alpha_{circ}} + \pi_{j,sect} (1-x_j)^{\alpha_{sect}} + \pi_{j,perm} (1-x_j)^{\alpha_{perm}}$$

sea cual sea j = 1 a J',  
y

$$20 \quad F_j(x_j) = \alpha_{elec} \pi_{j,elec} e^{-\alpha_{elec} x_j} + \alpha_{circ} \pi_{j,circ} (1-x_j)^{\alpha_{circ}-1} + \alpha_{sect} \pi_{j,sect} (1-x_j)^{\alpha_{sect}-1} + \alpha_{perm} \pi_{j,perm} (1-x_j)^{\alpha_{perm}-1}$$

Condiciones que hay que imponer al horizonte temporal D(τ)

25 Después de haber encontrado unas fórmulas analíticas para  $X_j$  que optimizan el criterio en el caso de cada tipo de barrido, y haber dado un método numérico de optimización en el caso general, nos proponemos definir aquí las condiciones a priori que debe verificar el horizonte temporal, es decir la duración D(τ) de escucha para que en todos los casos  $0 < X_j < 1$  si  $J' > 1$ .

La explicación se dará para  $\alpha_{elec} = \alpha_{circ} = \alpha_{sect} = \alpha_{perm} = \alpha$  en el caso en que se tienen en cuenta todos los tipos de barrido, pero es válido si estos factores son diferentes entre sí. Si se tienen en cuenta todos los tipos de barrido, tenemos por tanto

$$H(x_j) = \sum_j \left( \pi_{j,elec} e^{-\alpha x_j} + (\pi_{j,circ} + \pi_{j,sect} + \pi_{j,perm}) (1-x_j)^\alpha \right)$$

30 Se observa, en primer lugar, por medio de las curvas representadas en la figura 6 que corresponden a la representación de la función  $f(x) = e^{\alpha x} - (1-x)^\alpha$  en función de x para diferentes valores de  $\alpha$ , que  $0 \leq e^{\alpha x} - (1-x)^\alpha < 0,06$  para  $0 \leq x \leq 1$  para  $\alpha \geq 5$ .

Se utiliza por tanto la aproximación:

$$H = \sum_{j=1}^{J'} \pi_j e^{-\alpha x_j} \quad \text{siendo} \quad \pi_j = \pi_{j,elec} + \pi_{j,circ} + \pi_{j,sect} + \pi_{j,perm}$$

Con esta aproximación, la solución del problema general viene dada por (véase la parte en el barrido electrónico):

$$x_j = \frac{1}{J'} + \frac{1}{\alpha} \left( \ln \pi_j - \frac{1}{J'} \sum_{k=1}^{J'} \ln \pi_k \right) \quad [E4]$$

- 5 De esta expresión se deduce que  $0 < X_j < 1$  es siempre posible con la condición de que se seleccione  $\alpha$  lo bastante grande. De manera más precisa, si el límite superior de  $x_j$  es 1 y el límite inferior es 0, se tiene para todo  $j$ :

$$\frac{-1}{J'} + \frac{1}{\alpha J'} \sum_{k=1}^{J'} \ln \pi_k < \frac{1}{\alpha} \ln \pi_j < 1 - \frac{1}{J'} + \frac{1}{\alpha J'} \sum_{k=1}^{J'} \ln \pi_k$$

lo que conduce a imponer las dos siguientes condiciones para  $\alpha$ :

$$\alpha > \frac{1}{J'-1} \left( J' \operatorname{Max}_j (\ln \pi_j) - \sum_{k=1}^{J'} \ln \pi_k \right)$$

$$\alpha > \sum_{k=1}^{J'} \ln \pi_k - J' \operatorname{Max}_j (\ln \pi_j)$$

- 10 Del análisis previo, se deduce también, en el caso en el que  $\alpha_{elec} = \alpha_{circ} = \alpha_{sect} = \alpha_{perm} = \alpha$ , un valor inicial ya muy preciso para el algoritmo de optimización de una secuenciación que opera en una situación que consta de todos los tipos de barridos: son los valores  $x_j$  dados para la ecuación [E4].

15 Minimización de la duración media entre dos interceptaciones consecutivas, por el receptor, de una señal emitida por una misma fuente

- En una segunda forma de realización de la invención, el criterio de optimización es la minimización de la duración media entre dos interceptaciones consecutivas de una señal emitida en el entorno del receptor. Esta media se realiza en el conjunto de las bandas de frecuencia, en el conjunto de tipos de barrido considerados en la aplicación y en el área del parámetro  $[0 ; +\infty[$  de periodicidad. Dicho de otro modo, el valor que se busca maximizar, aquí, es la duración media entre dos interceptaciones consecutivas de una señal emitida en el entorno del receptor y procedente de una misma fuente.

- En los párrafos anteriores, hemos mostrado que para una ley de control de frecuencia según una selección aleatoria sin memoria, la duración media entre dos interceptaciones consecutivas de una señal que presenta una frecuencia comprendida en una banda  $j$  de frecuencia de escucha y procedente de una misma fuente que lleva a cabo un barrido caracterizado por un parámetro  $\tau$  de periodicidad es  $d(j) = \tau/x_j$ .

- La duración media entre dos interceptaciones  $K(x_j)$  consecutivas, por el receptor, de una señal que presenta una frecuencia comprendida en una banda  $j$  de frecuencia de escucha y procedente de una misma fuente que lleva a cabo un barrido caracterizado por un parámetro  $\tau$  de periodicidad, realizada en el conjunto de las frecuencias de escucha  $j$  siendo  $j = 1$  a  $J'$  y en el conjunto  $B$  de barridos se expresa de la siguiente manera en función de la probabilidad  $x_j$  de escucha:

$$K(x_j) = \sum_b \sum_{j=1}^{J'} \left( \pi_{j,b} \int_0^{\infty} \frac{\tau}{x_j} p_{j,b}(\tau) d\tau \right)$$

Esto también se escribe:

$$K(x_j) = \sum_j \left( \pi_{j,elec} \int_0^{\infty} \frac{\tau}{x_j} p_{j,elec}(\tau) d\tau \right) + \sum_j \left( \pi_{j,circ} \int_0^{\infty} \frac{\tau}{x_j} p_{j,circ}(\tau) d\tau \right) + \sum_j \left( \pi_{j,sect} \int_0^{\infty} \frac{\tau}{x_j} p_{j,sect}(\tau) d\tau \right) + \sum_j \left( \pi_{j,perm} \int_0^{\infty} \frac{\tau}{x_j} p_{j,perm}(\tau) d\tau \right)$$

En resumen:

$$K(x_j) = \sum_{j=1}^{J'} \frac{\tau_j}{x_j}$$

- 5 donde  $\tau_j$  es igual a la media del parámetro de periodicidad, para la banda  $j$  de frecuencia de escucha, realizada en el conjunto  $B$  de barridos a partir de los  $p_{j,b}(t)$  y de los  $\pi_{j,b}$  donde  $b$  adopta los valores comprendidos en el conjunto de barrido.

El problema de optimización consiste en encontrar la ley de probabilidad  $x_j$  que minimiza  $K(x_j)$ . Se debe encontrar

$$\text{Min}_{x_j} (K(x_j)) \quad \text{con las limitaciones} \quad \sum_j x_j = 1 \quad \text{y } 0 < x_j < 1 \text{ para } j = 1, 2, \dots, J'.$$

- 10 Se propone resolver  $\text{Min}_{x_j} (K)$  con la única limitación  $\sum_j x_j = 1$ , garantizar a continuación que la solución obtenida verifica en efecto:  $0 < x_j < 1$ , y corresponde a un mínimo.

Se utiliza de manera ventajosa el método del lagrangiano.

El lagrangiano de  $K(x_j)$  se escribe:

$$\sum_{j=1}^{J'} \frac{\tau_j}{x_j} + \lambda \left( \sum_{j=1}^{J'} x_j - 1 \right)$$

- 15 Las condiciones de optimización del primer orden dan:

$$\begin{cases} \frac{\tau_j}{x_j^2} = \lambda & ; \quad j = 1, 2, \dots, J' \\ \sum_{j=1}^{J'} x_j = 1 \end{cases}$$

cuya solución es:

$$x_j = \frac{\sqrt{\tau_j}}{\sum_{k=1}^{J'} \sqrt{\tau_k}} \quad ; \quad j = 1, 2, \dots, J'$$

- 20 que verifica efectivamente  $0 < x_j < 1$ , y corresponde a un mínimo puesto que la matriz de las derivadas segundas del criterio  $K(x_j)$  se define positiva.

$\tau_k$  es igual a la media del parámetro de periodicidad, para la banda  $k$  de frecuencia de escucha, realizada en el conjunto  $B$  de los barridos.

A continuación vamos a describir un ejemplo de realización de la etapa 110 de generación de las consignas de escucha consecutivas mediante selección aleatoria entre un conjunto de consignas de escucha cumpliendo con la ley de probabilidad determinada en la etapa 100.

5 El método general para seleccionar un valor Y aleatorio según una ley de probabilidad que tiene una función R(Y) de distribución es seleccionar un valor aleatorio según una distribución U uniforme en [0,1] y a continuación pasar por la función R<sup>-1</sup> recíproca de la función de distribución: Y = R<sup>-1</sup>(U). Véase por ejemplo [4] en la página 116.

La etapa de selección aleatoria comprende tres etapas que se ilustran respectivamente en la figura 7.

10 Esta comprende una etapa 200 de cálculo de las probabilidades acumuladas de escucha para todas las bandas de frecuencia de escucha a partir de la ley de probabilidad de escucha. La probabilidad P<sub>j</sub> acumulada de escucha de una banda de frecuencia de escucha de índice j es igual a la suma de las probabilidades de escucha de la banda j de frecuencia y de las de las bandas de frecuencias de escucha de índice inferior al índice de dicha banda de frecuencia de escucha.

15 Esta comprende también una etapa 210 de selección de un valor a aleatorio comprendido entre 0 y 1 según una ley uniforme (selección de un valor a aleatorio uniformemente distribuido entre 0 y 1). Esta etapa puede también ser una etapa de lectura de un valor en una tabla de valores aleatorios uniformemente distribuidos entre 0 y 1.

Esta comprende una última etapa 220 de selección, entre el conjunto de bandas de frecuencias de escucha de índice j siendo j = 1, ..., J', comprendiendo la banda de escucha el índice más pequeño tal que:

$$P(j-1) < a \text{ y } a \leq P(j) \text{ para } j > 1$$

y tal que P(j) ≥ a y no nulo para j = 1.

20 La etapa 120 de control del receptor se puede implementar únicamente una vez que ha transcurrido la etapa de determinación de las consignas de escucha consecutivas que se supone que tienen que ser escuchadas, es decir que tienen que escucharse, en un periodo de escucha superior a las duraciones elementales de escucha o bien después de la determinación de cada consigna de escucha.

25 Además de las ventajas citadas con anterioridad, la invención permite tener en cuenta emisiones de radar (que pueden realizar diferentes tipos de barrido) y emisiones de comunicación en una misma secuenciación.

Se va a describir ahora, en referencia a las figuras 8 y siguientes una etapa 90 de pretratamiento en la que se calcula una densidad de probabilidad p<sub>i,b</sub>(τ) de presencia y/o una probabilidad π<sub>i,b</sub> de presencia para un tipo de barrido.

30 En la entrada del procedimiento de secuenciación, no se tienen directamente las densidades de probabilidades p<sub>i,b</sub>(τ) de presencia o las probabilidades π<sub>i,b</sub> de presencia. En la figura 8, se ha representado un conjunto de áreas de interés definidas para el barrido electrónico, el barrido circular, el barrido sectorial y para las emisiones permanentes. Se ven tres áreas de interés definidas para el barrido circular D1cir, D2circ, D3circ, 2 áreas de interés definidas para el barrido sectorial D1sect, D2sect, 2 áreas de interés definidas para el barrido electrónico D1elect, D2elect, y 3 áreas de interés definidas para las emisiones permanentes D1perm, D2perm y D3perm. Estas áreas de interés se extienden, para el barrido circular, el barrido sectorial y el barrido electrónico, en un área frecuencia-parámetro de periodicidad (visibles en las figuras 9a a 9c), en el eje de las frecuencias f y en un eje de parámetro τ de periodicidad, y para las emisiones permanentes, en el eje de las frecuencias (en aras de la claridad, se han engrosado artificialmente estas últimas áreas de interés en el eje de los parámetros τ de periodicidad en la figura 8).

40 A cada área de interés se asocia un grado de prioridad escogido entre un conjunto de grados de prioridades. Los diferentes grados de prioridad se diferencian en la figura 8 por los motivos que rellenan las áreas.

Estas áreas de interés asociadas a unos grados de prioridad:

- bien se generan a partir de una biblioteca de emisiones conocidas que se pretende escuchar de nuevo: los grados de prioridad asociados a las áreas de interés corresponden por tanto a unas densidades de probabilidad de presencia a priori de señales en las áreas de interés consideradas;
- 45 - bien las genera un operario para focalizar la atención del receptor en unas áreas particulares: los grados de prioridades asociados a estas áreas corresponden por tanto a unas prioridades de escucha para la misión considerada.

50 La etapa 90 de pretratamiento comprende, como se puede ver en las figuras 9a a 9c, una etapa que consiste en dividir el eje de las frecuencias en un segundo conjunto de segundas bandas de frecuencias de índice m siendo m = 1 a M donde M es al menos igual a J' y, el eje de los parámetros de periodicidad en bandas de parámetros de periodicidad según un paso de parámetro de periodicidad determinado, de modo que se delimitan unas casillas que ocupan, cada una, una segunda banda de frecuencia de índice M, una banda de parámetro de periodicidad de índice l.

En las figuras 9a a 9d, las segundas bandas de frecuencia presentan la misma anchura. Estas también pueden presentar unas anchuras diferentes siempre y cuando presenten una anchura inferior o igual a la anchura máxima de la banda de frecuencia de recepción que puede ser escuchada por el receptor.

La etapa 90 comprende:

- 5     – para cada tipo de barrido del conjunto B que pertenece al conjunto formado por el barrido electrónico, el barrido circular y el barrido sectorial, una primera etapa de acumulación en la que se asocia en cada casilla del área frecuencia-parámetro de periodicidad asociado a dicho tipo de barrido, un primer producto que corresponde al producto de la proporción de dicha casilla que está cubierta por un área de interés definida para dicho tipo de barrido y del grado de interés que está asociado a dicha área de interés;
- 10    – cuando el conjunto B comprende unas emisiones permanentes, una segunda etapa de acumulación en la que se asocia a cada segunda banda de frecuencia, un segundo producto que corresponde al producto de la proporción de dicha segunda banda de frecuencia que está cubierta por un área de interés definida para las emisiones permanentes y del grado de interés que está asociado a dicha área;
- 15    – una etapa de cálculo de una suma global que corresponde a la suma, de la suma de los primeros productos realizada en todos los tipos de barrido del conjunto B que pertenece al conjunto formado por el barrido circular, el barrido sectorial y el barrido electrónico, y de los segundos productos;
- una etapa de normalización que consiste en calcular la relación entre los primeros productos respectivos y la suma global y entre los dos segundos productos respectivos y la suma global.

20    Al final de esta etapa, se obtiene, para cada casilla definida para el barrido circular, el barrido electrónico y el barrido sectorial, el valor de la densidad de probabilidad de presencia a priori definida en la banda de parámetro de periodicidad en la que se extiende la casilla, para la segunda banda de frecuencia en la que se extiende la casilla y para el tipo de barrido considerado.

25    Para las emisiones permanentes, el resultado obtenido, para cada segunda frecuencia, es la probabilidad de presencia a priori, en el entorno del receptor, de señales procedentes de emisiones permanentes y que se emiten con una frecuencia comprendida en la segunda banda de frecuencia.

30    De manera ventajosa, el procedimiento comprende, para al menos un tipo de barrido del conjunto B escogido entre el barrido circular, el barrido sectorial y el barrido electrónico, una etapa de cálculo de las probabilidades de presencia en el entorno del receptor, de señales emitidas con una frecuencia comprendida en cada segunda banda de frecuencia y que proceden del barrido considerado sumando las densidades de probabilidades de presencia obtenidas para dicha segunda banda de frecuencia y para el barrido considerado.

35    De manera ventajosa, la posición y la anchura de las segundas bandas de frecuencia se seleccionan, conociendo un valor máximo de la anchura de la banda de frecuencia de recepción del receptor, de modo que minimice el número de segundas bandas de frecuencia que presentan una anchura igual o inferior al valor máximo de la anchura de la banda de frecuencia de recepción y que están al menos parcialmente cubiertas por un área de interés definida para uno cualquiera de los barridos del conjunto B (véase la figura 10). La ventaja de ajustar el posicionamiento de las bandas de frecuencia con respecto a las áreas de interés que hay que escuchar es reducir el número  $J'$  de bandas de frecuencia que hay que escuchar, y por lo tanto poder volver más a menudo a las diferentes bandas de frecuencia.

40    Las bandas de frecuencias de índices  $j$  siendo  $j = 1$  a  $J'$  son las bandas de frecuencias que entre el segundo conjunto de frecuencia presentan una probabilidad de presencia no nula para al menos un tipo de barrido.

De manera más general, la invención se refiere a un procedimiento de secuenciación de un receptor cuando las tareas o recursos deben secuenciarse según diferentes duraciones y con unas limitaciones o no de punto de encuentro definidas por unos intervalos de periodicidades.

45    En resumen, la invención se refiere a un procedimiento de secuenciación de un receptor en un periodo  $T$  de observación que comprende una etapa de generación de consignas  $C_g$  de observaciones sucesivas que se supone que el receptor debe ejecutar de manera sucesiva. Las consignas de observación se obtienen mediante selección aleatoria sin memoria entre un conjunto de consignas de observaciones que define, cada una, una duración  $e_j$  elemental de observación, y una parte  $j$  observable de un área de observación escogidas entre un conjunto  $J'$  de partes observables de dicha área de observación que se supone que el receptor debe observar durante el periodo de observación. La selección aleatoria se realiza de modo que se cumpla con una ley de probabilidad de observación que define unas probabilidades de observación del conjunto de partes observables del área de observación, por el receptor, en el periodo  $T$  de observación.

55    Por ejemplo, el procedimiento se puede aplicar para un dispositivo de video-vigilancia constituido por varias cámaras cuyas imágenes (secuencias de imágenes con una duración que corresponde a la duración elemental de observación) deben enviarse de forma alterna a una misma pantalla de visualización (receptor) para un operario. Si cada cámara vigila una zona  $j$  (parte  $j$  del espacio escogida entre un conjunto de  $J'$  zonas vigiladas por las cámaras respectivas) y si la vigilancia se refiere a fenómenos periódicos, pseudo-periódicos o permanentes, con eventualmente algunas prioridades, se puede optimizar el orden de presentación de las imágenes en el terminal de

visualización del operario mediante el procedimiento según la invención.

Los siguientes ejemplos muestran que las modelizaciones probabilísticas utilizadas en el procedimiento son relevantes. Por ejemplo, la periodicidad en que un cliente coge un artículo en el pasillo de una tienda se puede modelizar por una ley de Poisson de parámetro  $1/\tau$  donde  $\tau$  es el intervalo de tiempo medio entre dos momentos en que se coge el artículo (parámetro de periodicidad). Por ejemplo, la vigilancia de un objeto en una vitrina se puede modelizar por un modelo de permanencia de presencia del objeto. En una cinta transportadora de una cadena de producción, el paso de objetos delante de una cámara se puede modelizar por una periodicidad fija, y en una doble cinta transportadora para una ida y una vuelta, el paso de objetos se puede modelizar por una periodicidad similar a un barrido sectorial.

5 Los valores del parámetro  $\tau$  de periodicidad son diferentes para los objetos que hay que vigilar en las  $J'$  zonas cubiertas por las cámaras. Igualmente, las prioridades pueden ser diferentes. El procedimiento permite la modelización probabilística de la vigilancia que hay que llevar a cabo, la optimización de la ley de secuenciación (cálculo de las probabilidades  $x_j$  para cada una de las cámaras) y la selección aleatoria sin memoria para la elección de las imágenes (o secuencias de imágenes) que hay que mostrar en la pantalla de visualización del operario.

15 El procedimiento se puede aplicar a un dispositivo de vigilancia de un campo de aerogeneradores cuyo receptor es una cámara, por ejemplo, de alta resolución que puede apuntarse en unas direcciones predefinidas (que son las diferentes partes observables del espacio) para vigilar diferentes puntos de la instalación con diferentes prioridades y con diferentes modelizaciones de periodicidades. La vigilancia de la rotación de las palas de aerogeneradores se lleva a cabo con una modelización de fenómeno permanente que hay que vigilar (cuando se observe, se observa o no la rotación), la vigilancia de los posibles fenómenos en los equipos a los pies de los aerogeneradores se lleva a cabo según una modelización de proceso de Poisson de parámetro  $1/\tau$  donde  $\tau$  es el intervalo de tiempo medio entre dos apariciones de fenómeno aleatorio que hay que vigilar. Se puede utilizar una prioridad diferente según los equipos.

25 La ley de probabilidad  $x_j$  de observación minimiza una magnitud predeterminada representativa de la proporción de fenómenos no observados por el receptor (o no interceptados por el receptor, proporción de señales no interceptadas en el caso descrito con anterioridad) durante el periodo  $T$  de observación, entre un conjunto de fenómenos que se supone que tienen que ser observados (o interceptados) por el receptor. Los fenómenos que se supone que tienen que ser observados por el receptor se supone que tienen lugar con unas periodicidades tales que se pueden modelizar por las periodicidades de iluminación de un receptor por unas señales procedentes de un conjunto de fuentes que funcionan según un conjunto de tipos de barridos escogidos entre un barrido circular, un barrido sectorial, un barrido electrónico y una emisión permanente (que el receptor puede observar de manera permanente), y se supone que se pueden observar en un conjunto  $J'$  de partes observables  $j$  del área de observación mencionada con anterioridad. El valor de la magnitud predeterminada mencionada más arriba se determina a partir de una modelización del conjunto de fenómenos que se supone que tienen que ser observados:

- 35
- por una familia de densidades  $p_{j,b}(\tau)$  de probabilidad expresadas en función de un parámetro  $\tau$  de periodicidad, para una parte  $j$  y un tipo de barrido  $b$  dado y/o;
  - a partir de una familia de probabilidades  $\pi_{j,b}$  de presencia, en el conjunto de señales considerado, de fenómenos observables en una parte  $j$  del área de observación y procedentes de un tipo de barrido  $b$  predeterminado,

40 definiéndose dicha al menos una familia para el conjunto  $J$  de partes  $j$  observables y para el conjunto  $B$  de tipos de barrido, siendo dicho parámetro  $\tau$  de periodicidad representativo de la duración media, en el periodo  $T$  de observación, entre dos apariciones sucesivas de un fenómeno en el caso en el que su periodicidad se modeliza por la periodicidad de la iluminación de un receptor por una señal procedente de una fuente que emite según un barrido electrónico, sectorial o circular. El parámetro  $\tau$  de periodicidad es la duración  $\varepsilon_j$  elemental de observación en el que el fenómeno es permanente.

45 La magnitud representativa de la proporción de fenómenos no observados puede ser la probabilidad media de no interceptación (o no observación) de un fenómeno a lo largo de la duración  $D$  o bien la duración media entre dos interceptaciones consecutivas del fenómeno. Las medias se realizan como se ha descrito para el ejemplo preciso de la interceptación de señales electromagnéticas en el que estas magnitudes son la probabilidad media de no interceptación de una señal procedente de una misma fuente a lo largo de la duración  $D$  y la duración media entre dos interceptaciones consecutivas de una señal procedente de una misma fuente.

50 En el caso general,  $p_j(\tau)$  es una densidad de probabilidad de presencia de fenómenos que se producen en una parte  $j$  del área observable.

55 La etapa de determinación de la ley de probabilidad se puede realizar de la misma manera que se ha descrito en referencia al ejemplo particular de interceptación de señales electromagnéticas. Las fórmulas de las probabilidades medias de no interceptación y de la duración media entre dos interceptaciones obtenidas y las leyes de probabilidad obtenidas son en particular las mismas que en el ejemplo descrito puesto que las modelizaciones de los fenómenos son las mismas.

Este procedimiento general presenta las mismas ventajas que las que se han descrito en referencia al ejemplo en

las señales electromagnéticas. En particular, presenta las mismas ventajas con respecto a los fenómenos cuyas periodicidades se pueden modelizar por la periodicidad de iluminación de un receptor por unas señales procedentes de un conjunto de fuentes que funcionan según un conjunto de tipos de barridos escogidos entre un barrido circular, un barrido sectorial, un barrido electrónico y una emisión permanente, y que se suponen que se pueden observar en dicho conjunto  $J'$  de partes  $j$  observables.

5

La invención también tiene por objeto un sistema de recepción que comprende unos medios de secuenciación aptos para implementar el procedimiento de secuenciación.

[1] I. V. L. CLARKSON y otros: Sensor Scheduling in electronic support using Markov chains, IEE Proc. Radar Sonar Navig., vol. 153, n°. 4, págs. 325-332, agosto de 2006.

10

[2] Pierre Faure: "Analyse Numérique - Notes d'optimisation", Ecole Polytechnique, Ellipses, 1988.

[3] Dimitri P. Bertsekas: "Constrained Optimization and Lagrange Multiplier Methods", Athena Scientific, 1996.

[4] D. E. Knuth: "The art of computer programming, vol. 2. Seminumerical algorithms", Addison, Wesley, 1981.



REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de secuenciación de un receptor (1) apto para recibir unas señales electromagnéticas emitidas en una banda de frecuencia de recepción en un periodo T de escucha de señales, que comprende una etapa (110) de generación de consignas de escucha sucesivas a ser ejecutadas por el receptor (1) de forma sucesiva, **caracterizado porque** dichas consignas de escucha se obtienen mediante selección aleatoria sin memoria entre un conjunto de consignas de escucha que definen, cada una, una duración  $\epsilon_j$  elemental de escucha, y una banda j de frecuencia de escucha, escogida entre un conjunto J' de bandas de frecuencias de escucha, en la que el receptor debe regular su banda de frecuencia de recepción durante el periodo  $\epsilon_j$  elemental de escucha, realizándose la selección aleatoria de modo que se cumpla con una ley de probabilidad de escucha que define unas probabilidades de escucha de las bandas de frecuencia de escucha respectivas del conjunto de las bandas de frecuencia de escucha.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la ley de probabilidad  $x_j$  de escucha minimiza una magnitud predeterminada representativa de la proporción de señales no interceptadas, durante el periodo (T) de escucha y por el receptor (1), entre un conjunto de señales que se supone que tiene que interceptar el receptor (1) y que tienen que proceder de un conjunto de fuentes que funcionan según un conjunto B de tipos de barrido que comprende al menos un tipo de barrido b considerado entre un barrido circular, un barrido electrónico, un barrido sectorial y una emisión permanente, y que emiten unas señales que presentan unas frecuencias comprendidas en el conjunto J de bandas j de frecuencia de escucha.
3. Procedimiento de secuenciación según la reivindicación 2, en el que dicho valor de dicha magnitud se determina a partir de una modelización de dicho conjunto de señales por una familia de densidades  $p_{j,b}(\tau)$  de probabilidad expresadas en función de un parámetro  $\tau$  de periodicidad, para una banda j de frecuencia de escucha y un tipo de barrido b dado y a partir de una familia de probabilidades  $\pi_{j,b}$  de presencia, en el conjunto de señales considerado, de señales emitidas con una frecuencia comprendida en una banda j de frecuencia de escucha y procedentes de un tipo de barrido b predeterminado, definiéndose dicha al menos una familia para el conjunto J de bandas j de frecuencias de escucha y para el conjunto B de tipos de barrido, siendo representativo dicho parámetro  $\tau$  de periodicidad de la duración media, en el periodo T de escucha, entre dos iluminaciones sucesivas del receptor por una señal procedente de una misma fuente en el caso del barrido electrónico, el barrido sectorial y el barrido circular y siendo la duración  $\epsilon_j$  elemental de escucha en el caso de las emisiones permanentes.
4. Procedimiento de secuenciación según una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 3, en el que el conjunto de tipos de barrido comprende varios tipos de barridos.
5. Procedimiento de secuenciación según una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 4, en el que la magnitud es la probabilidad media de no interceptación de una señal en una duración D( $\tau$ ), realizándose dicha media en dicho conjunto J' de bandas j de frecuencia, en dicho conjunto B de tipo de barrido b, y en un área de parámetro  $\tau$  de periodicidad, comprendiendo la etapa (100) de determinación de la ley de probabilidad una etapa de optimización que consiste en minimizar dicha probabilidad media de no interceptación.
6. Procedimiento de secuenciación según la reivindicación anterior, en el que se considera que la duración D( $\tau$ ) es proporcional al parámetro  $\tau$  de periodicidad.
7. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 5 a 6, en el que la etapa de optimización se realiza con las siguientes limitaciones:

$$\alpha > \frac{1}{J'-1} \left( J' \operatorname{Max}_j (\ln \pi_j) - \sum_{k=1}^{J'} \ln \pi_k \right) \quad \text{y} \quad \alpha > \sum_{k=1}^{J'} \ln \pi_k - J' \operatorname{Max}_j (\ln \pi_j)$$

donde  $\pi_j$  et  $\pi_k$  pertenecen al intervalo ]0 ; 1], donde  $\sum_{j=1}^{J'} \pi_j = 1$  y  $\sum_{k=1}^{J'} \pi_k = 1$  y donde  $\alpha$  es la relación entre la duración D( $\tau$ ) y el parámetro de periodicidad.

8. Procedimiento de secuenciación según una cualquiera de las reivindicaciones 5 a 7, en el que la probabilidad media de no interceptación es:  $\sum_{j=1}^{J'} \pi_j G_j(x_j)$  donde  $G_j(x_j) = \int_0^{\infty} e^{-x_j D(\tau)/\tau} p_j(\tau) d\tau$  y donde  $p_j(\tau)$  es una densidad de probabilidad de presencia, donde  $\pi_j$  pertenece al intervalo ]0 ; 1] y donde  $\sum_{j=1}^{J'} \pi_j = 1$ .

9. Procedimiento de secuenciación según una cualquiera de las reivindicaciones 5 a 6, en el que la probabilidad

media de no interceptación es:  $\sum_{j=1}^{J'} \pi_j G_j(x_j)$  donde

$$G_j(x_j) = \int_0^{\infty} (1-x_j)^{2[D(\tau)/2\tau]} \left( 1 - \frac{D(\tau)}{2\tau} x_j + \left[ \frac{D(\tau)}{2\tau} \right] x_j \right) p_j(\tau) d\tau,$$

donde  $p_j(\tau)$  es una densidad de

probabilidad de presencia, donde  $\pi_j$  pertenece al intervalo ]0 ; 1] y donde  $\sum_{j=1}^{J'} \pi_j = 1$ .

5 10. Procedimiento de secuenciación según una cualquiera de las reivindicaciones 5 a 7, en el que la probabilidad

media de no interceptación es:  $\sum_{j=1}^{J'} \pi_j G_j(x_j)$ , donde  $G_j(x_j) = \int_0^{\infty} (1-x_j)^{[D(\tau)/\tau]} p_j(\tau) d\tau$ , donde  $p_j(\tau)$  es

una densidad de probabilidad, donde  $\pi_j$  pertenece al intervalo ]0; 1] y donde  $\sum_{j=1}^{J'} \pi_j = 1$ .

11. Procedimiento de secuenciación según una cualquiera de las reivindicaciones 5 a 7, en el que la probabilidad

media de no interceptación es:  $\sum_{j=1}^{J'} \pi_j (1-x_j)^{[D(\tau)/\tau]}$  donde  $\pi_j$  pertenece al intervalo ]0 ; 1] y donde

10  $\sum_{j=1}^{J'} \pi_j = 1$ .

12. Procedimiento de secuenciación según una cualquiera de las reivindicaciones 5 a 7, en el que la probabilidad media de no interceptación es:

$$H(x_j) = H1(x_j) + H2(x_j) \text{ o } H1(x_j) \text{ o } H2(x_j)$$

donde  $H1(x_j) = \sum_{b1} \sum_{j=1}^{J'} (\pi_{j,b1} (1-x_j)^{\alpha_{b1}})$  y donde  $H2(x_j) = \pi_{j,elec} e^{-\alpha_{elec} x_j}$ , donde  $\pi_{j,b1}$  y  $\pi_{j,elec}$

15 pertenecen al intervalo ]0 ; 1] y donde  $\sum_{j=1}^{J'} \pi_{j,elec} + \sum_{j=1}^{J'} \sum_{b1} \pi_{j,b1} = 1$ .

13. Procedimiento de secuenciación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que ley de

probabilidad es:  $x_j = \frac{1}{J'} + \frac{1}{\alpha} \left( \ln \pi_j - \frac{1}{J'} \sum_{k=1}^{J'} \ln \pi_k \right)$  para  $j = 1$  a  $J'$ , donde  $\alpha$  es positivo, y donde  $\pi_j$  y  $\pi_k$

pertenecen al intervalo ]0 ; 1] y donde  $\sum_{j=1}^{J'} \pi_j = 1$ .

14. Procedimiento de secuenciación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que la ley de

20 probabilidad de escucha es:  $x_j = 1 - \left( \frac{1}{\pi_j} \right)^{\frac{1}{\alpha-1}} \frac{J'-1}{\sum_{k=1}^{J'} \left( \frac{1}{\pi_k} \right)^{\frac{1}{\alpha-1}}}$  para  $j = 1$  a  $J'$  donde  $\alpha$  es un entero superior a 2

y donde  $\pi_j$  y  $\pi_k$  pertenecen al intervalo ]0 ; 1] y donde  $\sum_{j=1}^{J'} \pi_j = 1$   $\sum_{k=1}^{J'} \pi_k = 1$ .

15. Procedimiento de secuenciación según una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 4, en el que la magnitud es la duración media entre dos interceptaciones consecutivas, por el receptor, de una señal, realizándose dicha media en dicho conjunto  $J'$  de frecuencias  $j$ , en dicho conjunto  $B$  de tipos de barrido  $b$ , y en un área de parámetro  $\tau$  de periodicidad.

5 16. Procedimiento de secuenciación según la reivindicación anterior, en el que la duración media entre dos

interceptaciones es: 
$$K = \sum_{j=1}^{J'} \frac{\tau_j}{x_j}$$
 donde  $\tau_j$  es la media del parámetro de periodicidad, realizada en el conjunto de tipos de barridos.

17. Procedimiento de secuenciación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 o 15 a 16 en el que la ley de

probabilidad de escucha es: 
$$x_j = \frac{\sqrt{\tau_j}}{\sum_{k=1}^{J'} \sqrt{\tau_k}} ;$$
  $j = 1, 2, \dots, J'$  donde  $\tau_j$  y  $\tau_k$  corresponden a las medias del parámetro de periodicidad, realizadas en el conjunto de tipos de barridos para la parte de índice  $j$  y respectivamente de índice  $k$ .

18. Procedimiento de secuenciación según una cualquiera de las reivindicaciones 3 o 4 a 17 cuando dependan de la reivindicación 3, que comprende una etapa (90) de pretratamiento que comprende una etapa de determinación de densidades de probabilidad  $p_{j,b}(\tau)$  y/o de probabilidades de presencia  $\pi_{j,b}$ , a partir de áreas de interés definidas para los tipos de barridos  $b$  del conjunto  $B$  y que se extiende, en un área frecuencia-parámetro de periodicidad en un eje de frecuencias  $f$  y en un eje de parámetro  $\tau$  de periodicidad para el barrido circular, el barrido sectorial y el barrido permanente, y para las emisiones permanentes, en el eje de frecuencias, estando cada área de interés asociada a un grado de prioridad.

19. Procedimiento según la reivindicación anterior, en el que la etapa de pretratamiento comprende una etapa que consiste en dividir el eje de las frecuencias en un segundo conjunto de bandas de frecuencias de índice  $m$  siendo  $m = 1$  a  $M$  donde  $M$  es al menos igual a  $J'$  y el eje de los parámetros de periodicidad en bandas de parámetros de periodicidad, de modo que se delimitan unas casillas que ocupan, cada una, una segunda banda de frecuencia de índice  $M$ , una banda de parámetro de periodicidad  $y$ ,

- para cada tipo de barrido del conjunto  $B$  que pertenece al conjunto formado por el barrido electrónico, el barrido circular y el barrido sectorial, una primera etapa de acumulación en la que se asocia a cada casilla del área frecuencia-parámetro de periodicidad asociada a dicho tipo de barrido, un primer producto que corresponde al producto de la proporción de dicha casilla que está cubierta por un área de interés definida para dicho tipo de barrido y del grado de interés que está asociado a dicha área de interés;
- cuando el conjunto  $B$  comprende unas emisiones permanentes, una segunda etapa de acumulación en la que se asocia a cada segunda banda de frecuencia, un segundo producto que corresponde al producto de la proporción de dicha segunda banda de frecuencia que está cubierta por un área de interés definida para las emisiones permanentes y del grado de interés que está asociado a dicha área;
- una etapa de cálculo de una suma global que corresponden a la suma, de la suma de los primeros productos realizada en todos los tipos de barrido del conjunto  $B$  que pertenece al conjunto formado por el barrido circular, el barrido sectorial y el barrido electrónico, y de los segundos productos;
- una etapa de normalización que consiste en calcular la relación entre los primeros productos respectivos y la suma global y entre los dos segundos productos respectivos y la suma global.

20. Procedimiento según la reivindicación anterior que comprende, para al menos un tipo de barrido del conjunto  $B$  escogido entre el barrido circular, el barrido sectorial y el barrido electrónico, una etapa de cálculo, de probabilidades de presencia en el entorno del receptor, de señales emitidas con una frecuencia comprendida en cada segunda banda de frecuencia y procedentes del barrido considerado al sumar las relaciones, entre los primeros productos y la suma global, obtenidas para dicha segunda banda de frecuencia y para el barrido considerado.

21. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 19 a 20, en el que las posiciones y anchuras de las segundas bandas de frecuencia respectivas se seleccionan, conociendo un valor máximo de la anchura de la banda de frecuencia de recepción del receptor, de manera que se minimice el número de segundas bandas de frecuencia que presentan una anchura igual o inferior al valor máximo de la anchura de la banda de frecuencia de recepción y que están al menos parcialmente cubiertas por un área de interés definida para uno cualquiera de los barridos del conjunto  $B$ .

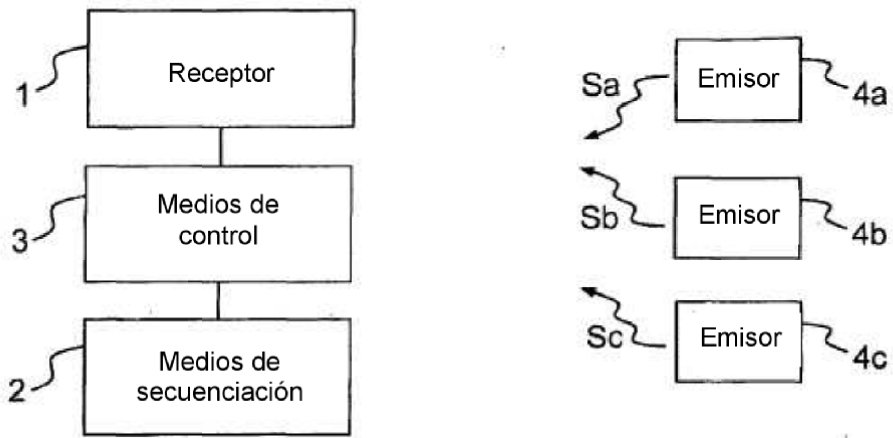


FIG.1

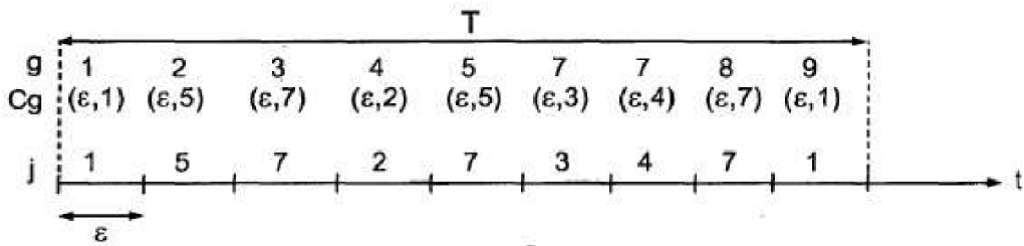


FIG.2

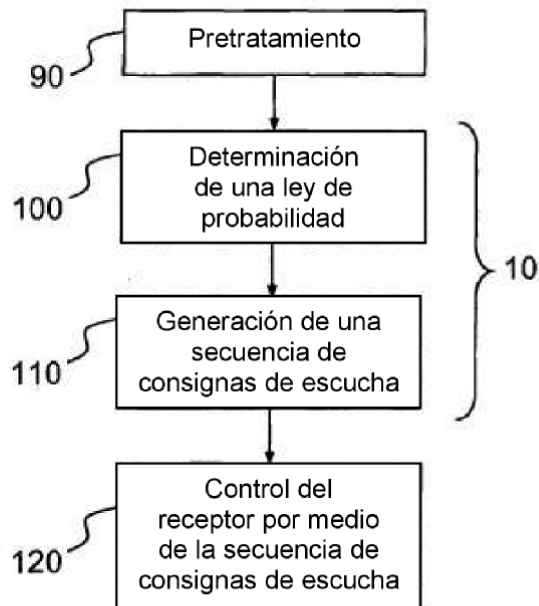


FIG.3

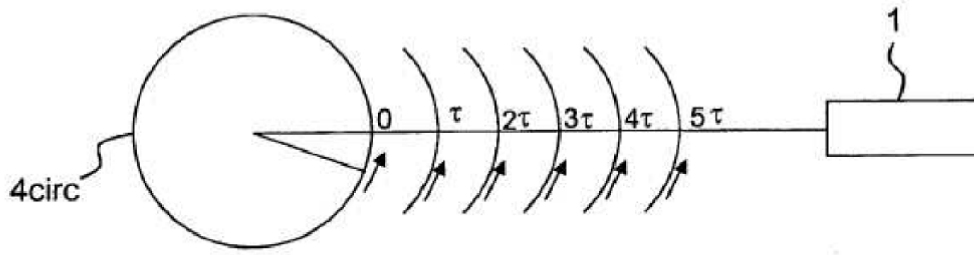


FIG. 4a

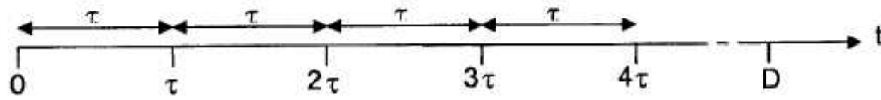


FIG. 4b

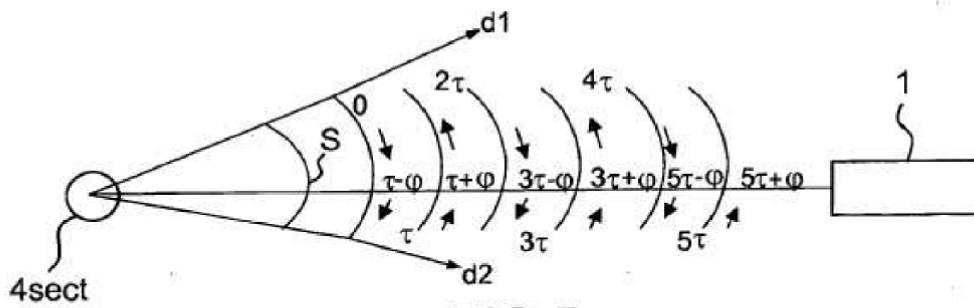


FIG. 5a

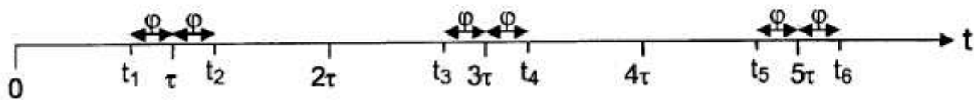


FIG. 5b

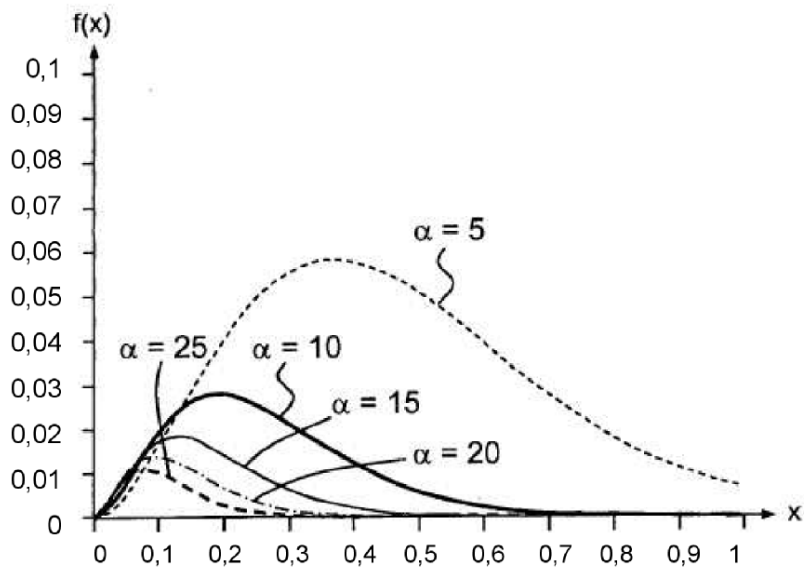


FIG.6

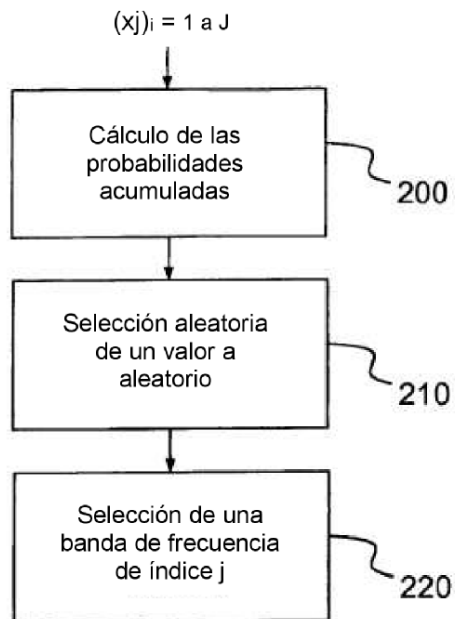


FIG.7

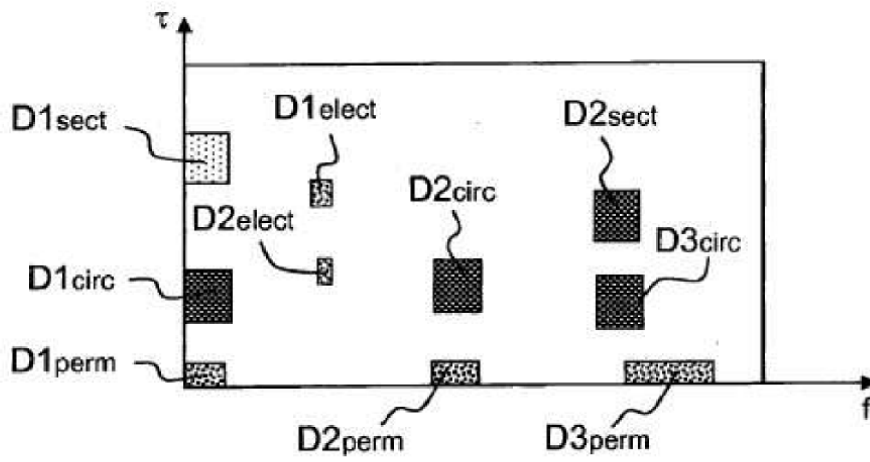


FIG. 8

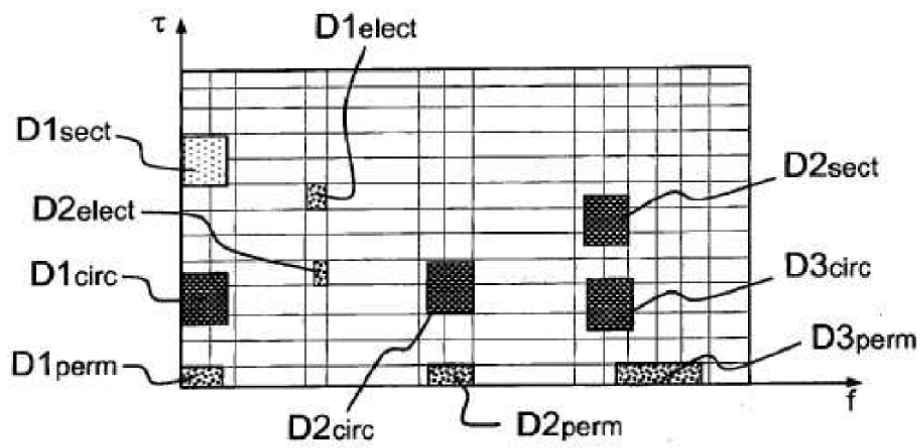


FIG. 10

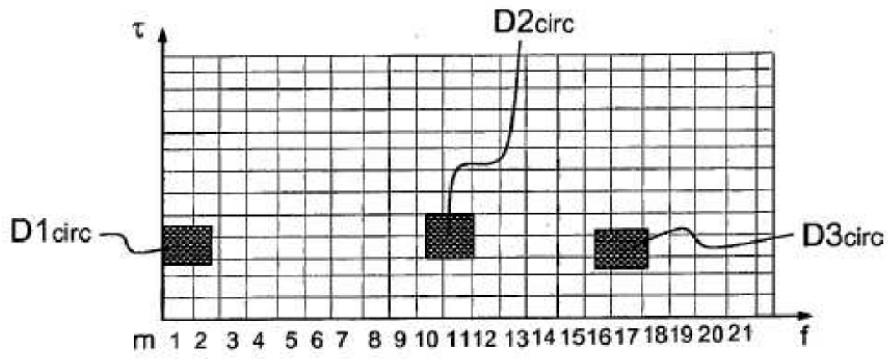


FIG. 9a

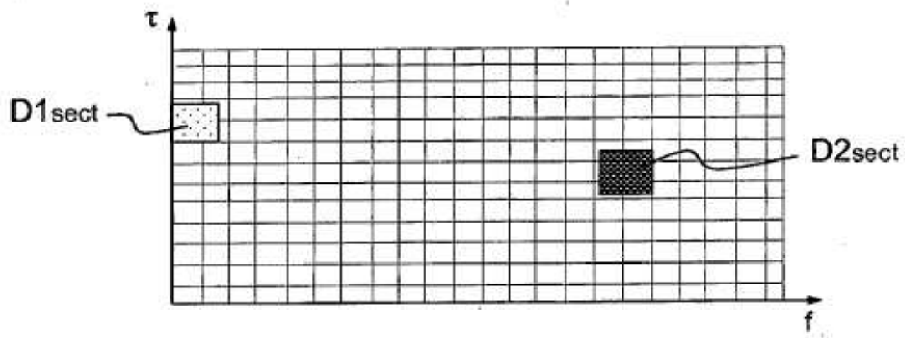


FIG. 9b

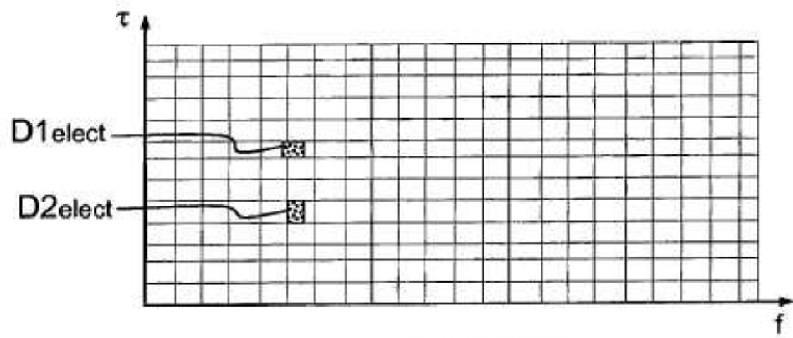


FIG. 9c

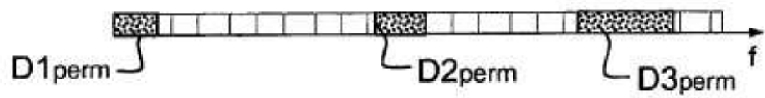


FIG. 9d