

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 574 489**

51 Int. Cl.:

**G01S 7/41** (2006.01)

**G01S 13/42** (2006.01)

**G01S 13/48** (2006.01)

**G01S 13/58** (2006.01)

**H01Q 3/26** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.06.2014 E 14171667 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.04.2016 EP 2816369**

54 Título: **Sistema de detección de emisiones múltiples simultáneas y procedimiento de detección**

30 Prioridad:

**21.06.2013 FR 1301453**

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

**20.06.2016**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**DESODT, GUY;  
PLANTE, JEAN-LUC y  
GUYVARCH, JEAN-PAUL**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 574 489 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

Sistema de detección de emisiones múltiples simultáneas y procedimiento de detección

La presente invención se refiere a un sistema de detección de emisiones múltiples simultáneas. Se refiere igualmente a un procedimiento de detección que utiliza las emisiones múltiples simultáneas.

5 La invención se aplica principalmente en el campo de los radares de emisiones múltiples simultáneas también denominados radares MIMO ("Multiple Input Multiple Output") o radares MISO ("Multiple Input Single Output"). Puede tratarse de radares terrestres, navales, aerotransportados o espaciales. La invención puede aplicarse igualmente a los sonares activos.

10 Entre las diversas funciones de un radar, una función es detectar los objetos lentos y de reducida reflectividad, tales como unos drones principalmente. Para detectar unos objetos lentos en presencia de confusión, es necesario tener una buena resolución Doppler por tanto una gran duración de observación coherente. Para conservar una buena precisión angular, una solución consiste en emplear un haz de emisión ampliado y un racimo de haces de recepción que cubra el conjunto de haces de emisión. En una solución clásica se amplía el haz mediante una ley de fase. Sin embargo esta solución no permite obtener el aislamiento necesario entre el objetivo buscado de reducida reflectividad y de reducida velocidad, por ejemplo un dron, y los vehículos en el terreno, de la misma velocidad y de reflectividad netamente mayor. Otra solución consiste en ampliar el haz mediante emisiones múltiples simultáneas; esta solución se describe en el presente documento a continuación. Se verá que no responde a la necesidad más que parcialmente, en efecto ciertos lóbulos secundarios pueden reducirse pero continúan siendo aún demasiado grandes o en una cantidad muy grande.

20 La emisión múltiple simultánea, también denominada emisión coloreada, consiste en emitir unas señales diferentes en función de las subredes de la antena de emisión, y en realizar de ese modo una codificación espacio-temporal del espacio. Estas señales se combinan en el espacio según unos juegos de fase o unos retardos que dependen de la dirección deseada. El resultado es una señal global que difiere de una dirección a otra. En la recepción, para detectar una señal procedente de la dirección dada, el tratamiento efectúa un filtrado adaptado a la señal asociada a esta dirección. Este filtro no está adaptado a las señales procedentes de las otras direcciones puesto que la señal no es la misma en estas otras direcciones. Sin embargo, las señales de las diferentes direcciones son todas procedentes de las mismas señales elementales. Da como resultado una correlación que hace que el filtro adaptado a una dirección no produzca un cero perfecto cuando recibe la señal procedente de otra dirección. Este nivel corresponde a un lóbulo secundario de la función de ambigüedad.

30 Unos análisis efectuados sobre una gran variedad de códigos muestran que la mayor parte de los códigos analizados producen unos lóbulos secundarios cuyo nivel sobrepasa el nivel deseado en ciertas zonas del espacio ángulo-distancia-Doppler. Los escasos códigos que casi alcanzan el objetivo de reducción del nivel amplían significativamente el lóbulo principal, lo que les hace finalmente poco útiles debido a la falta de discriminación que esto implica. En conclusión, ninguno de los códigos de emisiones múltiples simultáneas analizados satisface la necesidad operacional.

35 Un problema a resolver para estos radares de tipo MIMO o MISO es por tanto la reducción de los lóbulos secundarios de la función de ambigüedad ángulo-distancia-Doppler.

40 Un documento US 6 977 610 B2 que tiene principalmente por propósito incrementar la sensibilidad de detección del radar presenta una solución que utiliza la asociación de dos radares que emiten simultáneamente hacia un mismo objetivo y reciben ambos todos los ecos procedentes de las dos emisiones y las asocian. La solución no indica cómo suprimir los ecos parásitos procedentes de los lóbulos secundarios.

45 Un documento EP 2434310 A1 describe un tratamiento de recepción, mediante formación de haz mediante el cálculo, que se dirige al aprovechamiento de manera óptima de diversas redes de antena. El documento precisa que este tratamiento puede asociarse a una emisión múltiple simultánea o emisión coloreada. Sin embargo, la solución descrita en este documento no trata de la reducción de los lóbulos secundarios de la función de ambigüedad ángulo-distancia-Doppler.

Un documento VINCENT PEREIRA et ál.: "Coloured transmission based on multicarrier phase coded signals in MIMO radar", RADAR CONFERENCE, 2011 IEEE, 23 de mayo de 2011, páginas 425-430, divulga un sistema de detección de emisiones múltiples simultáneas.

50 Un objeto de la invención es principalmente reducir lo más posible los lóbulos secundarios de la función de ambigüedad principalmente de un radar de emisiones múltiples simultáneas. Con este fin, la invención tiene por objeto un sistema de detección de emisiones múltiples simultáneas que incluye una antena compuesta de subredes de emisión que iluminan una misma zona del espacio y al menos una subred de recepción, teniendo cada subred una posición dada en dicha red, emitiendo cada subred de emisión una señal que tiene una característica propia, formando el conjunto de las características propias de cada subred el código de emisiones múltiples simultáneas, siendo realizada la detección de objetivos mediante la emisión de una serie de ráfagas de emisiones múltiples, incluyendo dicha serie al menos dos códigos de emisión diferentes, estando presentes unos ecos en el lóbulo

principal y en unos lóbulos secundarios de la función de ambigüedad, dicho sistema:

- emite unos códigos diferentes entre al menos dos ráfagas, conservando dicha emisión el lóbulo principal de la función de ambigüedad pero orientando dichos lóbulos secundarios de dicha función de ambigüedad en unas direcciones diferentes de ráfaga a ráfaga;
- 5 - detecta las señales procedentes de cada dirección;
- efectúa la asociación de las diferentes señales detectadas en cada dirección para dichas al menos dos ráfagas, reduciendo dicha asociación el nivel de los ecos presentes en dichos lóbulos secundarios, variables de ráfaga a ráfaga, de la función de ambigüedad.

10 En un modo de realización particular, dichos al menos dos códigos de emisión son consecutivos. Dichos al menos dos códigos se repiten por ejemplo en el interior de dicha serie de ráfagas.

Incluyendo la emisión N códigos diferentes, uno por ráfaga, la asociación se realiza por ejemplo según un criterio "2 sobre N" o según un criterio "K sobre N", siendo K superior a 2.

La asociación se realiza por ejemplo según un tratamiento de tipo "Compressed Sensing" o según un tratamiento de tipo máximo de verosimilitud.

15 Un código de emisiones múltiples simultáneas se realiza por ejemplo atribuyendo a cada subred de emisión una sub-banda de frecuencias. En un modo de realización posible, los centros de fase de dichas subredes de emisión están alineados según un eje.

20 Al incluir dicho sistema varias subredes de recepción, dichas subredes no están localizadas conjuntamente, recibiendo cada subred de recepción las señales procedentes de las diferentes emisiones producidas por dichas subredes de emisión.

La invención tiene igualmente por objeto un procedimiento de detección de emisiones múltiples simultáneas que utilizan una antena compuesta de subredes de emisión que iluminan una misma zona del espacio y al menos una subred de recepción, teniendo cada subred una posición dada en dicha red, procedimiento en el que:

- 25 - se atribuye a cada subred de emisión una señal de emisión que tiene una característica propia, formando el conjunto de las características propias de cada subred el código de emisiones múltiples simultáneas, siendo realizada la detección de objetivos mediante la emisión de una serie de ráfagas de emisiones múltiples, incluyendo dicha serie al menos dos códigos de emisión diferentes, estando presentes unos ecos en el lóbulo principal y en unos lóbulos secundarios de la función de ambigüedad,
- 30 - se emiten unos códigos diferentes entre al menos dos ráfagas, conservando dicha emisión el lóbulo principal de la función de ambigüedad pero orientando los lóbulos secundarios de dicha función de ambigüedad en unas direcciones diferentes de ráfaga a ráfaga;
- se detectan las señales procedentes de cada dirección;
- se efectúa la asociación de las diferentes señales detectadas en cada dirección para dichas al menos dos ráfagas, reduciendo dicha asociación el nivel de los ecos presentes en los lóbulos secundarios, variables de ráfaga a ráfaga, de la función de ambigüedad.
- 35

Surgirán otras características y ventajas de la invención con la ayuda de la descripción que sigue, realizada en relación a unos dibujos adjuntos que representan:

- 40 - la figura 1, una ilustración de los lóbulos secundarios de ambigüedad de un radar de emisiones múltiples simultáneas;
- la figura 2, un ejemplo de lóbulo principal y de lóbulos secundarios que corresponden a un código de emisiones múltiples simultáneas;
- la figura 3, un ejemplo de lóbulo principal y de lóbulos secundarios que corresponden a un código de emisiones múltiples simultáneas que permite reducir los lóbulos secundarios;
- 45 - las figuras 4a a 4d, una ilustración del principio de la invención;
- las figuras 5a a 5c, una ilustración de un resultado obtenido por la invención;
- la figura 6, un ejemplo de realización posible de un radar según la invención;
- las figuras 7a a 7b, unos ejemplos de codificación de emisiones múltiples simultáneas que pueden ser implementados por la invención.

50 La figura 1 ilustra los lóbulos secundarios de ambigüedad de un radar de emisiones múltiples simultáneas. Como regla general, la expresión "función de ambigüedad" se asocia a una función que depende al menos de dos variables, la distancia y el Doppler por ejemplo. La figura 1 no describe más que una variable. En otros términos, la figura 1 describe el fenómeno con relación al ángulo. La figura 2 a continuación describirá más completamente el fenómeno que juega en realidad con el ángulo y la distancia.

55 En una estructura según la técnica anterior, varios elementos de emisión emiten cada uno una señal característica. Uno o varios elementos de recepción efectúan un tratamiento que aprovecha el conocimiento de la señal radiada en función de la dirección, por tanto de la codificación del espacio.

Más particularmente, la figura 1 muestra la anchura del haz de emisión Tx que corresponde a una subred de antena, en función del ángulo  $\theta$ . La anchura del haz, función de la dimensión de la subred de antena, presenta una anchura dada.

5 La figura 1 muestra también un haz de recepción Rx en una dirección definida por un ángulo  $\theta_0$ , más estrecho. Como se ha indicado anteriormente la emisión múltiple simultánea consiste en emitir unas señales diferentes, estando asociada una señal a cada subred que emite a partir de una posición dada en la antena. Estas señales se combinan en el espacio para proporcionar una señal global que difiere de una dirección a otra. La señal en una dirección dada es el resultado de una combinación de las señales procedentes de las diferentes subredes. La señal en otra dirección es el resultado de otra combinación de las mismas señales procedentes de las diferentes subredes.

10 En la recepción, para detectar una señal procedente de una dirección dada  $\theta_0$ , el tratamiento efectúa un filtrado adaptado a la señal asociada a esta dirección. Sin embargo las señales de las otras direcciones son todas procedentes de las mismas señales elementales. Por un efecto de correlación, el filtro adaptado a la dirección  $\theta_0$  no produce un cero perfecto cuando recibe una señal en otra dirección. Este nivel de recepción corresponde a un lóbulo secundario 1, 2, 3, 4. La figura 1 ilustra por otro lado los inconvenientes de estos lóbulos secundarios. En efecto, un objetivo 11 con una superficie equivalente de radar (SER) grande, presente en un lóbulo secundario, puede ser detectado como un objetivo 10 de reducida SER presente en el lóbulo principal de recepción.

15 La figura 2 presenta, para un código de emisión múltiple simultánea, el lóbulo principal 20 de recepción flanqueado por dos lóbulos secundarios 201, 202 en el dominio ángulos-distancias, las abscisas representan la distancia al objetivo y las ordenadas representan el ángulo de recepción, es decir la dirección. La codificación, utilizada para aproximarse lo mejor posible al objetivo de eliminación o al menos de gran reducción de los lóbulos secundarios, deja aparecer sin embargo unos lóbulos secundarios demasiado elevados en ciertas zonas (ángulo-dirección) 203, 204, 205.

20 La figura 3 ilustra un caso correspondiente a algunos códigos que permiten aproximar las restricciones sobre los lóbulos secundarios pero al precio de un lóbulo principal 300 grandemente ensanchado por tanto no discriminante. Las figuras 1 a 3 ilustran los límites de las emisiones múltiples simultáneas según la técnica anterior.

25 Las figuras 4a a 4d ilustran el principio de la invención con la ayuda de un caso particular y simple. La solución según la invención consiste en emitir no un único código de emisión múltiple sino sucesivamente unos códigos diferentes, de una ráfaga a otra, y combinar las respuestas obtenidas con la ayuda de un tratamiento no lineal. Es posible prever que el código no varíe entre dos ráfagas sucesivas sino entre más de 2 ráfagas, no necesariamente sucesivas.

30 La figura 4a presenta una red 41 de antenas que consta por ejemplo de ocho subredes 42 de antenas. Una subred de antena puede estar constituida por una única antena o varias antenas elementales o elementos de antena, unos elementos radiantes por ejemplo. Estos últimos pueden estar alineados.

35 Cada subred emite según un código. Se asigna un código a cada subred 42. Cada código está asignado a una y solo a una subred. La figura 4a ilustra la codificación de la emisión para una ráfaga de orden M. Una primera subred  $A_1$  emite según un código  $C_1$ , una segunda subred  $A_2$  emite según un código  $C_2$  y así sucesivamente hasta la última subred  $A_8$  que emite según un código  $C_8$ . En el ejemplo de la figura 4a, un código  $C_i$  corresponde a la asignación de una sub-banda de frecuencias 43, a una subred.

40 La figura 4b muestra la función de ambigüedad de las señales recibidas correspondientes a la emisión de la figura 4a, representada en el dominio ángulos-distancias. El lóbulo principal 44 se sitúa en el origen de los ejes. Los lóbulos secundarios 45 se alinean en cada lado de este lóbulo principal 44 según una distancia que crece de manera lineal en función del ángulo  $\theta$ .

45 La figura 4c ilustra la codificación de la emisión en la ráfaga siguiente, M+1, para la misma red que la de la figura 4a. En este ejemplo, se invierte la asignación de los códigos  $C_i$ , es decir de las sub-bandas 43, con relación a la posición de las subredes. En consecuencia, la primera subred  $A_1$  emite según el código  $C_8$ , la segunda subred  $A_2$  según el código  $C_7$  y así sucesivamente, emitiendo la octava subred  $A_8$  según el código  $C_1$ .

50 La figura 4d muestra la función de ambigüedad de las señales recibidas correspondientes a la emisión de la figura 4c en el mismo dominio ángulos-distancias que el de la figura 4b. Hay siempre un lóbulo principal 46 en el origen de los ejes y unos lóbulos secundarios siempre alineados en cada lado de este lóbulo principal. Sin embargo la alineación está orientada de modo diferente, es simétrica con la alineación precedente con relación al eje de los ángulos.

55 Mediante un tratamiento adaptado se pueden suprimir entonces los lóbulos secundarios 45, 47 que no están situados en los mismos entornos de una ráfaga a otra y no conservar más que el lóbulo principal 44, 46. En un caso de implementación en el que los cambios de códigos se realizan de una ráfaga a otra, el código de la ráfaga M+2 es el mismo que para la ráfaga M, siendo el código de la ráfaga M+3 el mismo que el de la ráfaga M+1 y así sucesivamente.

Ventajosamente, la invención utiliza un principio similar a este en la utilización para aumentar las ambigüedades distancia-Doppler. En este último caso, se efectúa la emisión de varias ráfagas con unas ambigüedades diferentes y posteriormente la asociación de las señales de las diferentes ráfagas mediante un tratamiento no lineal. El tratamiento más simple y más normalmente utilizado solicita la detección, en una misma célula distancia-Doppler sobre al menos dos ráfagas. En el caso de las emisiones múltiples sucesivas según la invención, el tratamiento más simple solicita la detección en una misma célula ángulo-distancia-Doppler sobre al menos dos ráfagas.

La sucesión de emisiones múltiples diferentes presenta la ventaja de combinar muy bien con la variación de ambigüedades distancia y Doppler de ráfaga a ráfaga. Esto se basa en una variación, de ráfaga a ráfaga, del periodo de recurrencia de la recurrencia y eventualmente de la frecuencia de emisión. La solución propuesta por la invención consiste en hacer variar, además, el código de la emisión múltiple simultánea como se ha ilustrado por el caso simple de las figuras 4a a 4d. El tratamiento de asociación de las ráfagas, con el fin de suprimir los lóbulos secundarios, puede permanecer sin cambios una vez efectuados los filtros adaptados a los códigos emitidos para cada ráfaga. Este tratamiento implica la detección de al menos dos ráfagas en una misma célula ángulo-distancia-Doppler. Es posible por supuesto contemplar otros tratamientos distintos a este basados en la detección de al menos dos ráfagas (criterio 2 sobre N). Para la detección de objetos lentos, a priori situados en la primera ambigüedad distancia-Doppler, no se oculta ninguna ráfaga por las ambigüedades y se puede sustituir el criterio "2 sobre N" por un criterio "K sobre N" en el que K es superior a 2. Para un valor suficiente de N, es más eficaz permitiendo principalmente una mejor probabilidad de detección, para una misma probabilidad de falsa alarma y una mejor probabilidad de rechazo de ecos fuertes múltiples.

El ejemplo ilustrado por las figuras 4a a 4d es un caso simple en el que hay dos códigos producidos en dos ráfagas sucesivas, siendo efectuada la detección a partir de estas dos ráfagas. Se pueden prever unos casos en los que los dos códigos sucesivos pueden repetirse varias veces, sobre N ráfagas. En estos casos en los que se trata más de ráfagas sucesivas, que emiten solo dos códigos, el criterio es  $1+N/2$  sobre N. Por ejemplo con  $N = 6$ , un objetivo bien colocado responde en las 6 ráfagas, un objetivo mal colocado responde en 3 ráfagas puesto que el código que le conviene está presente tres veces. Para discriminar este objetivo mal colocado, es necesario entonces un criterio 4 sobre 6, o 5 sobre 6 o 6 sobre 6, y no 2 sobre 6. Más generalmente, en el caso de que los códigos se repitan en la serie de las ráfagas emitidas, el tratamiento 2 sobre N no es el mejor adaptado. Pueden utilizarse ventajosamente otros tratamientos.

Se puede utilizar de ese modo unos tratamientos de tipo adquisición comprimida conocidos por otro lado según la expresión inglesa "compressed sensing". Estos tratamientos de tipo "compressed sensing" permiten construir una señal a partir de un número reducido de mediciones. En la aplicación en la presente asociación, se construye la señal de detección de un objetivo a partir de las medidas efectuadas en cada dirección, para los códigos de emisión múltiple sucesivos.

Estos tratamientos aplicados a las formas de ondas propuestas permiten obtener unos rendimientos superiores a los del criterio 2 sobre N o incluso del criterio K sobre N. Optimizan la detección simultánea de un conjunto de objetivos. Unos ejemplos de tratamiento del tipo "compressed sensing" se describen principalmente en el documento "Compressed sensing", de David L. Donoho, Department of Statistics, Stanford University, septiembre de 2004, o en el documento "Compressed sensing radar", de Matthew Herman et al, Department of Mathematics, University of California, 2008 IEEE.

Se pueden contemplar así unos tratamientos adaptados, por ejemplo del tipo Capon o máxima verosimilitud.

La invención realiza por tanto principalmente, en un radar de emisiones múltiples simultáneas, la emisión de códigos diferentes de ráfaga a ráfaga y efectúa la asociación de las diferentes ráfagas mediante un tratamiento no lineal, por ejemplo del tipo "2 sobre N", "K sobre N", "compressed sensing", Capon o Máximo de verosimilitud.

Las figuras 5a, 5b y 5c ilustran un resultado obtenido mediante la implementación de la invención. Según la invención, varios elementos de emisión emiten cada uno varios códigos sucesivamente, se obtiene por tanto una sucesión de emisiones múltiples simultáneas según unos códigos diferentes. En el ejemplo de estas figuras, la sucesión de los códigos se establece en dos ráfagas.

La figura 5a ilustra las funciones de ambigüedades para un primer código emitido en la ráfaga de orden M y la figura 5b ilustra las funciones de ambigüedad para un segundo código emitido en la ráfaga de orden M+1. Estas funciones de ambigüedad que corresponden a los lóbulos secundarios se representan en el dominio ángulo-distancia. La figura 5a presenta un lóbulo principal 51 y dos primeros lóbulos secundarios 52, 53 así como una multitud de lóbulos secundarios según tres líneas 54 que pasan por los lóbulos anteriores y orientadas en una misma dirección. La figura 5b presenta el lóbulo principal 51 y los dos primeros lóbulos secundarios 52, 53 así como una multitud de lóbulos secundarios según tres líneas 55 que pasan por estos tres lóbulos 51, 52, 53 y orientados en otra dirección.

En la recepción, uno o varios elementos de recepción efectúan:

- un tratamiento que aprovecha el conocimiento de la señal radiada en función de la dirección para cada emisión múltiple simultánea, por medio de un filtrado adaptado. Este tratamiento puede efectuarse en la salida de la función de Formación del Haz para el Cálculo (con un filtro adaptado por haz, cuyos coeficientes se asocian a la

dirección del haz), o efectuarse antes de la Formación del Haz para el Cálculo (con un conjunto de filtros adaptados, asociándose cada uno a una de las direcciones de los haces que producen la FCC);

- posteriormente un tratamiento que asocia las respuestas procedentes de las emisiones sucesivas, siendo por ejemplo este tratamiento de tipo “2 sobre N”, “K sobre N”, “compressed sensing”, “Capon” o “Máximo de Verosimilitud”.

El ejemplo de las figuras 5a y 5b corresponde a la emisión de dos códigos sucesivos. Durante el tratamiento de asociación, un criterio “2 sobre 2” se convierte en tomar, en cada punto, la 2ª señal más grande entre las 2 señales disponibles, es decir tomar la señal mínima.

La función de ambigüedad procedente de esta asociación es ilustrada por la figura 5c. No quedan más que el lóbulo principal 51 y los dos primeros lóbulos secundarios 52, 53 y unos lóbulos secundarios 57 sobre el eje distancia.

La figura 5c ilustra por otro lado la eficacia de la invención. Se puede ver en efecto que la invención reduce muy grandemente el dominio ángulo-distancia en el que un eco fuerte puede perturbar la detección de un eco débil. En el ejemplo de la figura 5c, se ve que los lóbulos residuales 57 están casi todos sobre el eje distancia. Es posible resolver estos lóbulos secundarios según el estado de la técnica.

El tratamiento base de supresión de los lóbulos secundarios de una ráfaga a otra es de tipo “K sobre N”. El valor  $K = 2$  se utiliza habitualmente para los objetivos rápidos mientras que un valor superior está mejor adaptado para la detección de objetivos lentos y de reducida reflectividad, siendo la primera huella de distancia y velocidad, no están ocultados por los eclipses de distancia y velocidad, y por tanto visibles en las N ráfagas. Se pueden implementar dos cadenas de asociación de las señales, una para la detección de los objetivos rápidos, con  $K = 2$ , y otra para la detección de los objetivos lentos, con  $K > 2$ .

Pueden utilizarse varias familias de códigos de emisión múltiple simultánea. Preferentemente, se utilizan unas familias de códigos que permiten obtener fácilmente el objetivo operacional. Se puede elegir así una limitación que imponga unos lóbulos secundarios poco numerosos o localizados, como por ejemplo los lóbulos secundarios 54 y 55 de las figuras 5a y 5b, aceptando que sean relativamente elevados. Al ser poco numerosos y localizados, su supresión mediante un criterio K sobre N es eficaz y afecta poco a la detección de los otros objetivos. Los códigos que satisfacen esta limitación son numerosos y fáciles de sintetizar. Se darán a continuación algunos ejemplos.

Las figuras que siguen presentan unos modos de realización posibles para la generación de las señales y el tratamiento digital de los ecos procedentes de las emisiones simultáneas sucesivas.

La figura 6 ilustra un ejemplo de realización posible de un radar según la invención. El material necesario para emitir unas emisiones múltiples diferentes de una ráfaga a otra es esencialmente el mismo que para un único código de emisión múltiple. Es necesario prever principalmente además la memorización digital de los códigos y sus controles, lo que es simple de implementar. En el ejemplo de la figura 6, el radar incluye una antena constituida por Q subredes de emisión  $A_1, A_2, \dots, A_Q$ . Cada subred dispone de un generador de señales 611, 612..., 61Q. Por ejemplo programable, capaz de emitir una característica de emisión diferente de ráfaga a ráfaga. Un amplificador 621, 622..., 62Q amplifica las señales procedentes de los generadores e 611, 612..., 61Q antes del paso a las subredes. Un oscilador local 10 proporciona una frecuencia de base a los generadores de frecuencias. Los generadores de señales están controlados mediante unos medios de control 63 que memorizan los diferentes códigos asignados a cada subred  $A_1, \dots, A_Q$  para cada ráfaga. Estos medios de memorización y de control de los códigos están por ejemplo integrados en los medios de tratamiento del radar. En el ejemplo de la figura 6, la emisión incluye tres codificaciones sucesivas 67, en lugar de dos en los ejemplos de las figuras 5a a 5d. Los medios de memorización 63 deben por tanto memorizar al menos  $3 \times Q$  códigos diferentes.

La antena emite de ese modo una sucesión de señales múltiples simultáneas, según un periodo de tres ráfagas.

A partir de esta sucesión de señales de emisiones múltiples simultáneas, el radar recibe una sucesión 68 de respuestas de objetivos. Para un primer objetivo 60 se recibe una señal 681 que corresponde a la codificación de la ráfaga M, una señal 682 que corresponde a la codificación de la ráfaga M+1 y una señal 683 que corresponde a la codificación de la ráfaga M+2. Para un segundo objetivo 60', se recibe otra serie de señales 681', 682', 683'.

En la recepción, el radar incluye al menos una antena AR así como unos medios de recepción 64, 65 comprendiendo al menos un amplificador de bajo ruido 64 y un receptor digital por subred de antena.

Los medios de recepción 65 efectúan principalmente las funciones siguientes:

- formación de haz por el cálculo, capaz de formar un racimo de haces que recubren el conjunto del diagrama de emisión Tx;
- compresión de impulsos efectuando, en cada haz formado, un filtro adaptado 66 a la señal radiada en la dirección del haz;
- filtrado Doppler produciendo un conjunto de filtros estrechos;
- regulación de falsas alarmas asociando TFAC (Tasa de Falsa Alarma Constante, estimación sobre los ejes distancia y Doppler) y mapa de perturbaciones (estimación de barrido a barrido en cada célula ángulo-distancia,

- con Doppler reducido);
- detección por comparación con un umbral;
- despliegue distancia-Doppler;
- 5 - asociación 69 de las señales 70 detectadas en la salida de los filtros 66 para las tres ráfagas, por ejemplo en dos tipos de asociación:
  - según un criterio "2 sobre N" con el fin de detectar los objetivos rápidos;
  - según un criterio "K sobre N" con el fin de detectar los objetivos lentos; pudiendo utilizarse otros criterios, solo subsisten en la salida de la asociación el o los ecos 600 de objetivos presentes en la dirección de los filtros adaptados;
- 10 - Extracción de los datos asociada en cada asociación mediante:
  - reagrupamiento de las detecciones vecinas en una pila de detecciones
  - cálculo de la posición media de cada fila
  - reagrupación de las informaciones en un trazado
- Eventualmente un rastreo realizando:
  - 15 - un encadenado de los trazados de vuelta a vuelta;
  - un cálculo de los parámetros de trayectoria.

Es posible modificar el orden de las dos primeras funciones anteriores que se convierten entonces en:

- compresión de impulsos adaptados a las direcciones que recubren el conjunto del diagrama de emisión Tx;
- 20 - formación de haz por el cálculo formando para cada salida de compresión de impulso, el haz asociado a la dirección.

Pueden implementarse algunas variantes de realización, en particular se puede prever un ejemplo de realización que incluye una o varias de las características siguientes:

- la antena de emisión incluye un generador por elemento radiante, lo que se convierte en que cada subred de emisión sea un único elemento de antena;
- 25 - la antena de emisión dispone de subredes cuyos centros están alineadas según un único eje, por ejemplo en la forma de postes verticales separados sobre el eje horizontal o de postes horizontales separados sobre el eje vertical;
- las subredes de antena de recepción no están localizadas en el mismo entorno y cada subred de recepción recibe los ecos procedentes de las diferentes emisiones, el tratamiento que reúne las señales procedentes de las subredes distantes puede hacerse entonces de manera coherente o no coherente, el ejemplo de la figura 6 presenta una única subred de recepción pero es posible por supuesto prever varias;
- 30 - el racimo de haces de recepción incluye unos haces apretados por ejemplo con un factor de racimo de 2 en cada eje para anticipar la ganancia en resolución angular aportada por la emisión múltiple simultánea;
- la antena de recepción incluye un receptor por elemento radiante, lo que se convierte en que cada subred de recepción sea un único elemento de antena;
- 35 - la compresión de impulsos efectúa en paralelo varios filtrados, adaptado cada uno a una gama de velocidades radiales. Esto es particularmente útil cuando los códigos son sensibles al Doppler, códigos que pueden convertirse en interesantes con vistas a la solución propuesta;
- el filtrado Doppler puede no realizarse, para una emisión de ráfagas que incluya un único impulso, o incluir unos filtros de poca resolución, para unas ráfagas que incluyan un reducido número de impulsos;
- 40 - el órgano de regulación de falsas alarmas efectúa su estimación basándose en las propiedades de cada código emitido, por ejemplo mediante una estimación sobre una diagonal distancia-ángulo;
- la asociación de las ráfagas se efectúa según un tratamiento "Compressed sensing", un único tratamiento de asociación puede entonces ser conveniente a la vez para los objetivos lentos y los objetivos rápidos;
- 45 - la asociación de las ráfagas se efectúa según un tratamiento de tipo adaptativo, por ejemplo mediante un procedimiento de mínimos cuadrados, Capon o incluso máximo de verosimilitud.

Las figuras 7a a 7d ilustran unos ejemplos de codificación del espacio, mediante emisiones múltiples simultáneas, mediante unos ejemplos de asignación de frecuencias a las subredes de antenas repartidas sobre un único eje. Las sub-bandas de frecuencias asignadas se representan en función de la posición de las subredes. Más particularmente, las frecuencias asignadas se representan mediante unos cuadrados 71, 72, 73, 74. Las dimensiones de cada cuadrado representan la sub-banda de frecuencias según el eje de las ordenadas y la dimensión de la subred según el eje de las abscisas. Estos cuadrados forman unos elementos de una matriz que incluye un único elemento por línea y por columna.

La figura 7a corresponde a una codificación análoga a la de la figura 4a. En este ejemplo, las frecuencias aumentan de manera lineal con la posición de las subredes. Los cuadrados 72 de la figura 7b están alineados regularmente según tres rampas crecientes desplazadas en frecuencia. En la figura 7c, los cuadrados 73 están alineados regularmente según tres rampas decrecientes desplazadas en frecuencia. En la figura 7d, los cuadrados 74 se

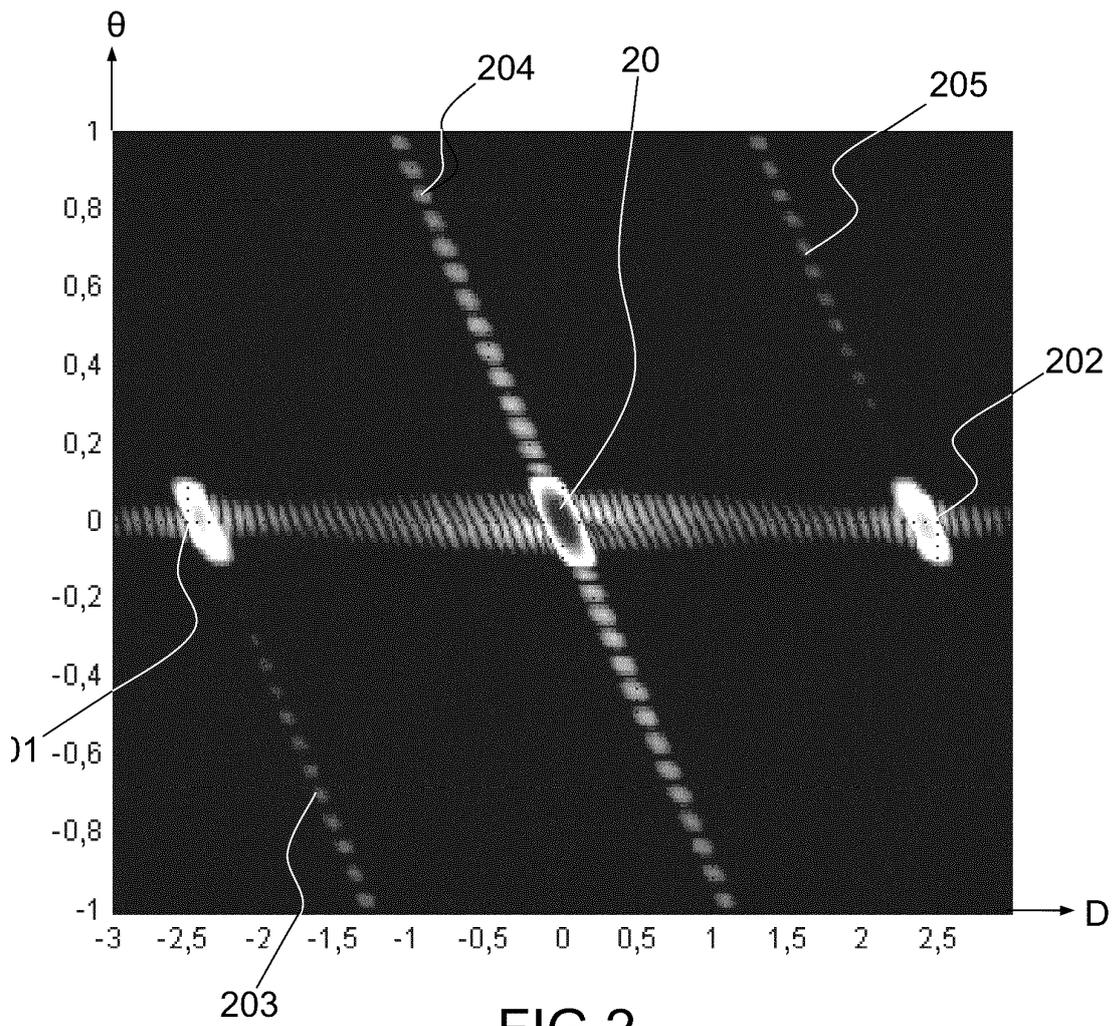
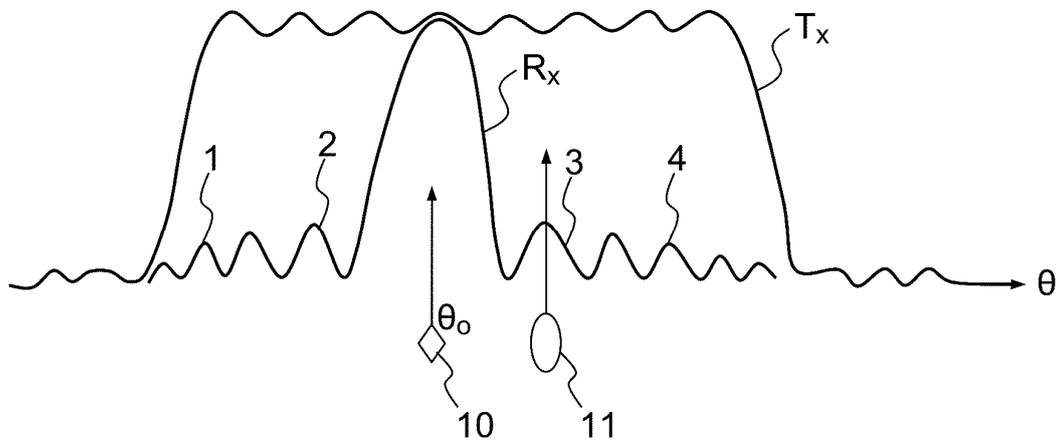
reagrupan por pares, estando los pares a su vez alineados regularmente según unas rampas decrecientes. Un par está constituido por dos cuadrados contiguos según una de sus diagonales. Son posibles por supuesto numerosas otras disposiciones de los cuadrados, y por tanto otras codificaciones mediante asignación de frecuencias por subredes.

- 5 La invención se ha descrito para unos radares de emisiones múltiples simultáneas. La invención puede aplicarse de modo igualmente ventajoso para unos sonares activos que funcionen según el mismo principio de emisiones múltiples.

## REIVINDICACIONES

- 5 1. Sistema de detección de emisiones múltiples simultáneas que incluye una antena (41) compuesta de subredes (42,  $A_1, \dots, A_Q$ ) de emisión que iluminan una misma zona del espacio y al menos una subred ( $A_R$ ) de recepción, teniendo cada subred una posición dada en dicha red, emitiendo cada subred de emisión una señal que tiene una característica propia, formando el conjunto de las características propias de cada subred el código de emisiones múltiples simultáneas, realizándose la detección de objetivos mediante la emisión de una serie de ráfagas de emisiones múltiples, incluyendo dicha serie al menos dos códigos de emisión diferentes, estando presentes unos ecos en el lóbulo principal (44, 46) y en unos lóbulos secundarios (45, 47) de la función de ambigüedad, **caracterizado porque** dicho sistema:
- 10 - emite unos códigos (67) diferentes entre al menos dos ráfagas, conservando dicha emisión el lóbulo principal de la función de ambigüedad pero orientando dichos lóbulos secundarios de dicha función de ambigüedad en unas direcciones diferentes de ráfaga a ráfaga;
- 15 - detecta las señales (68) procedentes de cada dirección.,
- efectúa la asociación (69) de las diferentes señales (70) detectadas en cada dirección para dichas al menos dos ráfagas, reduciendo dicha asociación el nivel de ecos presentes en dichos lóbulos secundarios (45, 47) de la función de ambigüedad.
2. Sistema de detección según la reivindicación 1, **caracterizado porque** dichos al menos dos códigos emisión son consecutivos.
3. Sistema de detección según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** dichos al menos dos códigos se repiten en el interior de dicha serie de ráfagas.
4. Sistema de detección según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la emisión incluye N códigos diferentes, uno por ráfaga, la asociación se realiza según un criterio "2 sobre N".
5. Sistema de detección según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la emisión incluye N códigos diferentes, uno por ráfaga, la asociación se realiza según un criterio "K sobre N", siendo K superior a 2.
6. Sistema de detección según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la asociación se realiza según un tratamiento de tipo "Compressed Sensing".
7. Sistema de detección según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la asociación se realiza según un tratamiento de tipo máximo de verosimilitud.
- 30 8. Sistema de detección según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** un código de emisiones múltiples simultáneas se realiza atribuyendo a cada subred de emisión una sub-banda (43) de frecuencias.
9. Sistema de detección según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** los centros de fase de dichas subredes (42,  $A_1, \dots, A_Q$ ) de emisión están alineados según un eje.
- 35 10. Sistema de detección según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** incluye varias subredes de recepción ( $A_R$ ), dichas subredes no están localizadas conjuntamente, recibiendo cada subred de recepción las señales procedentes de las diferentes emisiones producidas por dichas subredes de emisión.
11. Sistema de detección según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el sistema de detección es un radar.
- 40 12. Procedimiento de detección de emisiones múltiples simultáneas que utilizan una antena (41) compuesta de subredes (42,  $A_1, \dots, A_Q$ ) de emisión que iluminan una misma zona del espacio y al menos una subred ( $A_R$ ) de recepción, teniendo cada subred una posición dada en dicha red, procedimiento en el que se atribuye a cada subred de emisión una señal de emisión que tiene una característica propia, formando el conjunto de las características propias de cada subred el código de emisiones múltiples simultáneas, realizándose la detección de objetivos mediante la emisión de una serie de ráfagas de emisiones múltiples, incluyendo dicha serie al menos dos códigos de emisión diferentes, estando presentes unos ecos en el lóbulo principal (44, 46) y en unos lóbulos secundarios (45, 47) de la función de ambigüedad, **caracterizado porque**:
- 45 - se emiten unos códigos (67) diferentes entre al menos dos ráfagas, conservando dicha emisión el lóbulo principal de la función de ambigüedad pero orientando los lóbulos secundarios de dicha función de ambigüedad en unas direcciones diferentes de ráfaga a ráfaga;
- 50 - se detectan las señales (68) procedentes de cada dirección;
- se efectúa la asociación (69) de las diferentes señales (70) detectadas en cada dirección para dichas al menos dos ráfagas, reduciendo dicha asociación el nivel de ecos presentes en los lóbulos secundarios (45, 47) de la función de ambigüedad.

13. Procedimiento de detección según la reivindicación 12, **caracterizado porque** dichos al menos dos códigos emisión son consecutivos.
14. Procedimiento de detección según una cualquiera de las reivindicaciones 12 a 13, **caracterizado porque** dichos al menos dos códigos se repiten por ejemplo en el interior de dicha serie de ráfagas.
- 5 15. Procedimiento de detección según una cualquiera de las reivindicaciones 12 a 14, **caracterizado porque** la emisión incluye N códigos diferentes, uno por ráfaga, la asociación se realiza según un criterio "2 sobre N".
16. Procedimiento de detección según una cualquiera de las reivindicaciones 12 a 15, **caracterizado porque** la emisión incluye N códigos diferentes, uno por ráfaga, la asociación se realiza según un criterio "K sobre N", siendo K superior a 2.
- 10 17. Procedimiento de detección según una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 13, **caracterizado porque** la asociación se realiza según un tratamiento de tipo "Compressed Sensing".
18. Procedimiento de detección según una cualquiera de las reivindicaciones 12 a 17, **caracterizado porque** la asociación se realiza según un tratamiento de tipo máximo de verosimilitud.
- 15 19. Procedimiento de detección según una cualquiera de las reivindicaciones 12 a 18, **caracterizado porque** un código de emisiones múltiples simultáneas se realiza atribuyendo a cada subred (42,  $A_1, \dots, A_Q$ ) una sub-banda (43) de frecuencia.



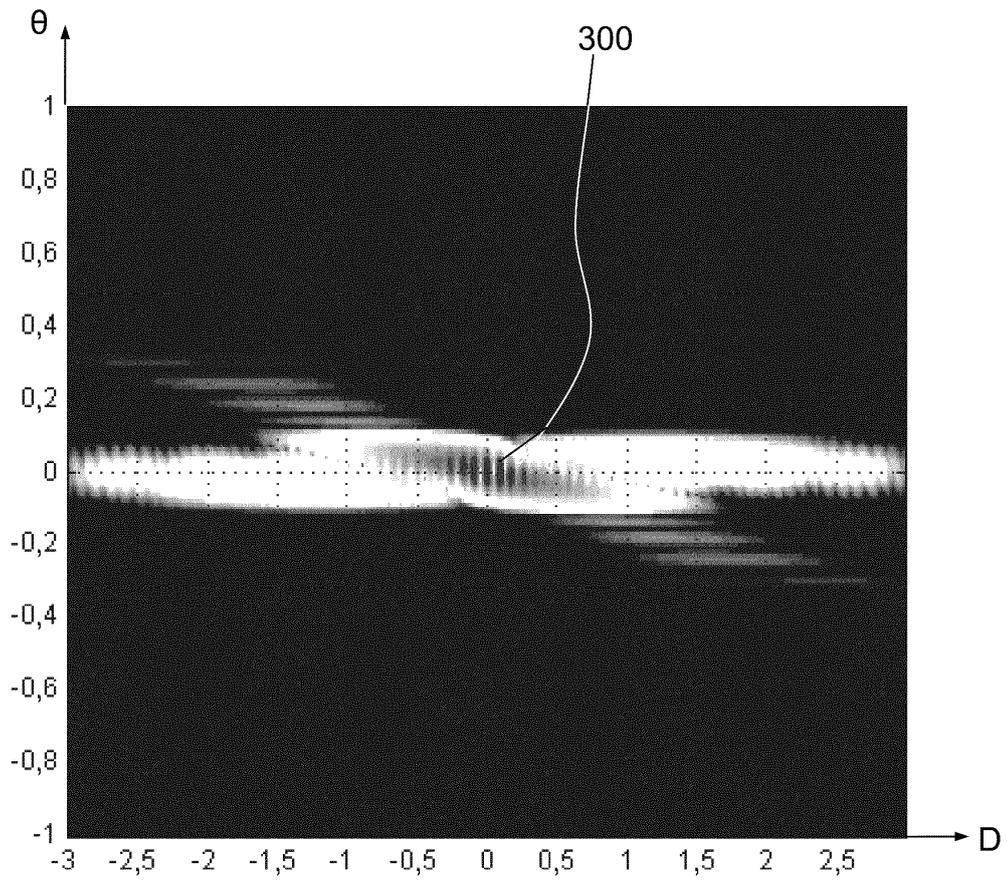


FIG.3

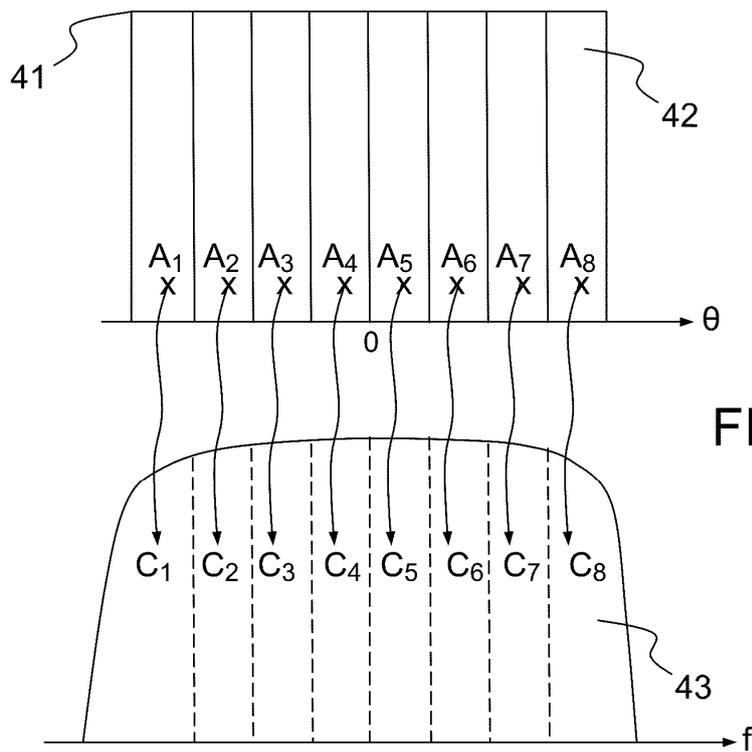


FIG.4a

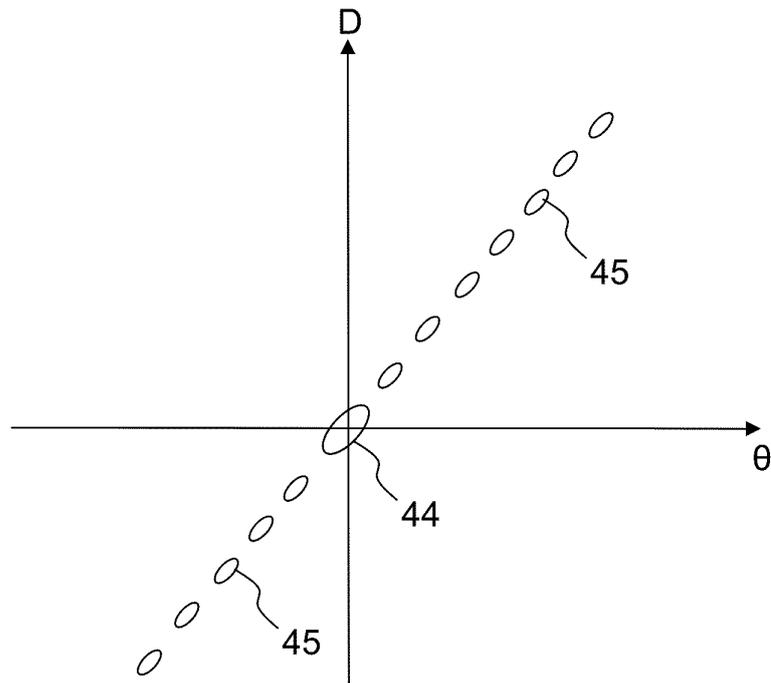


FIG. 4b

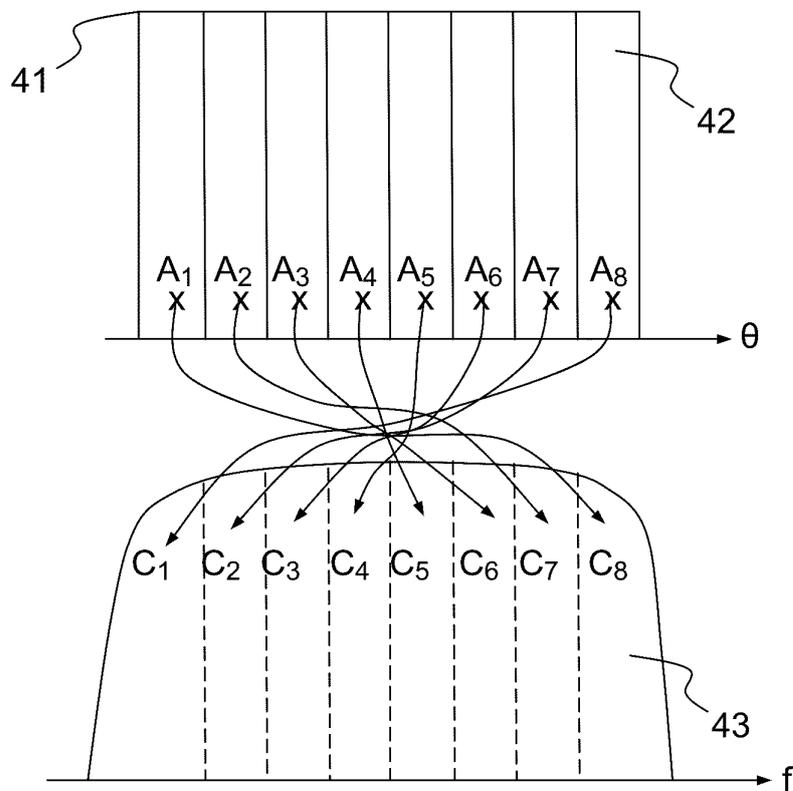


FIG. 4c

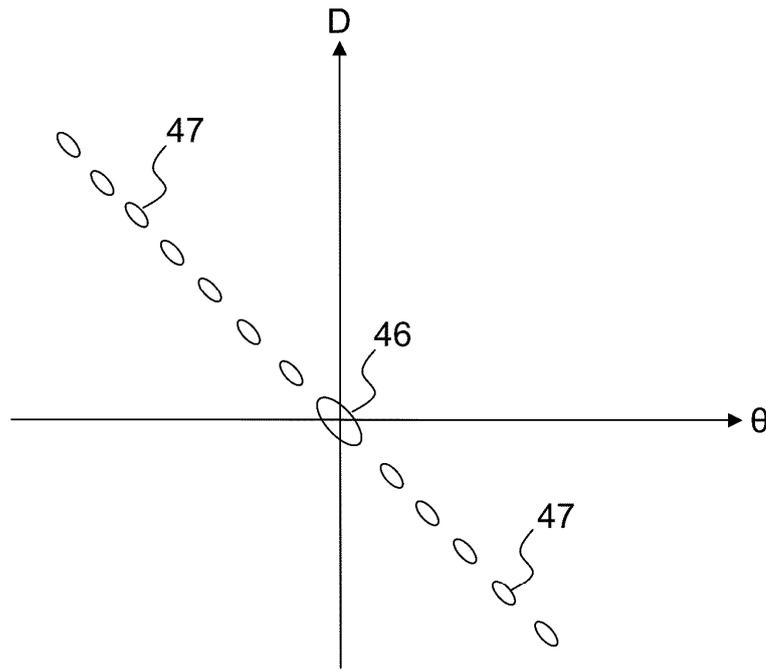
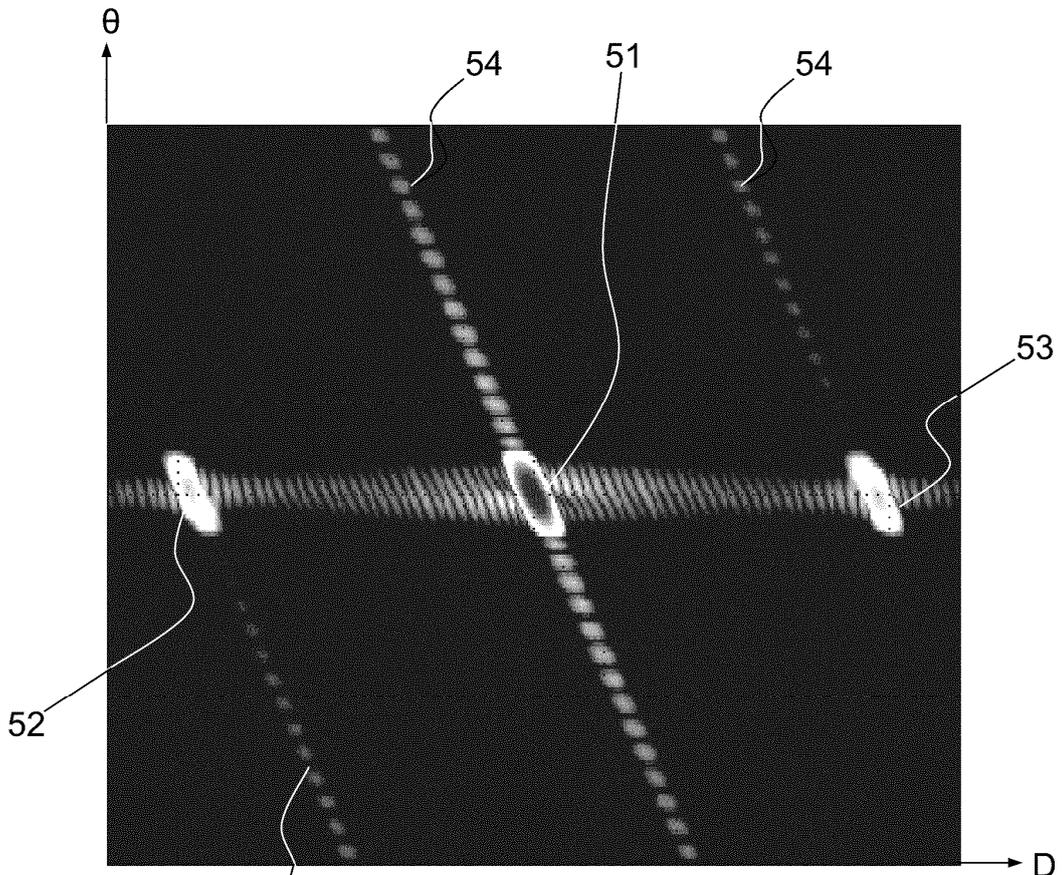
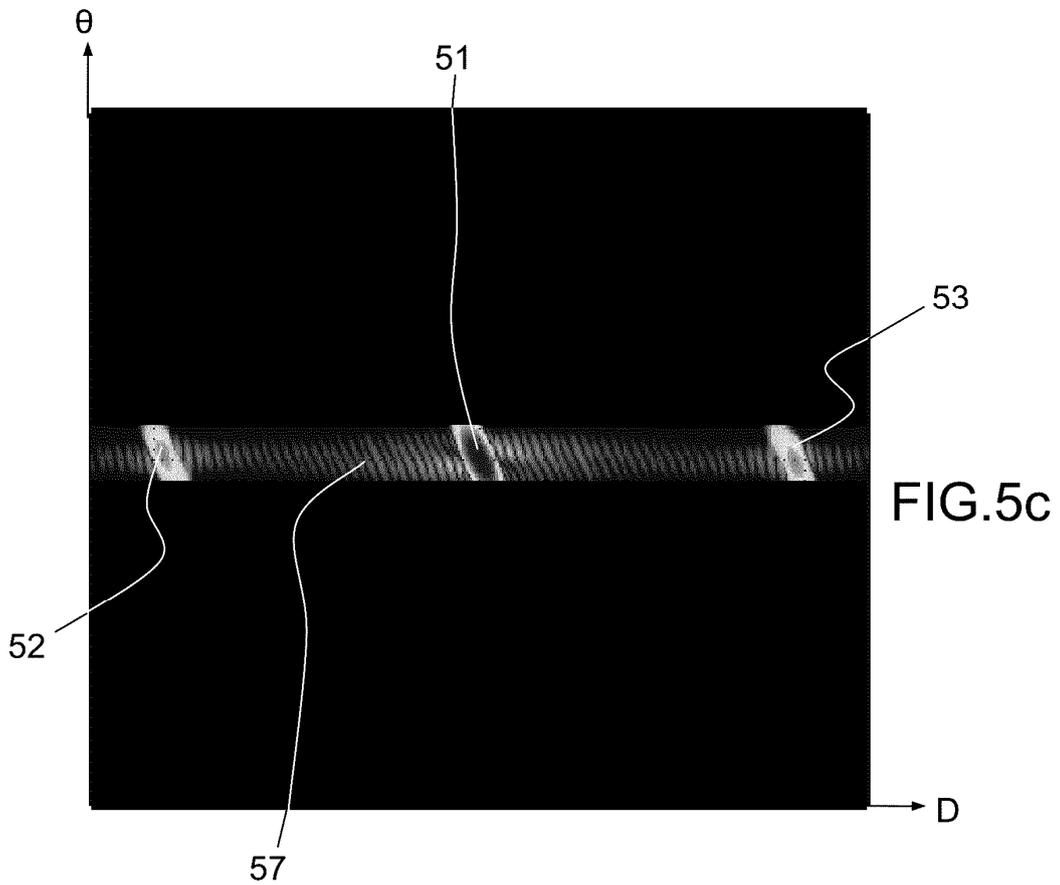
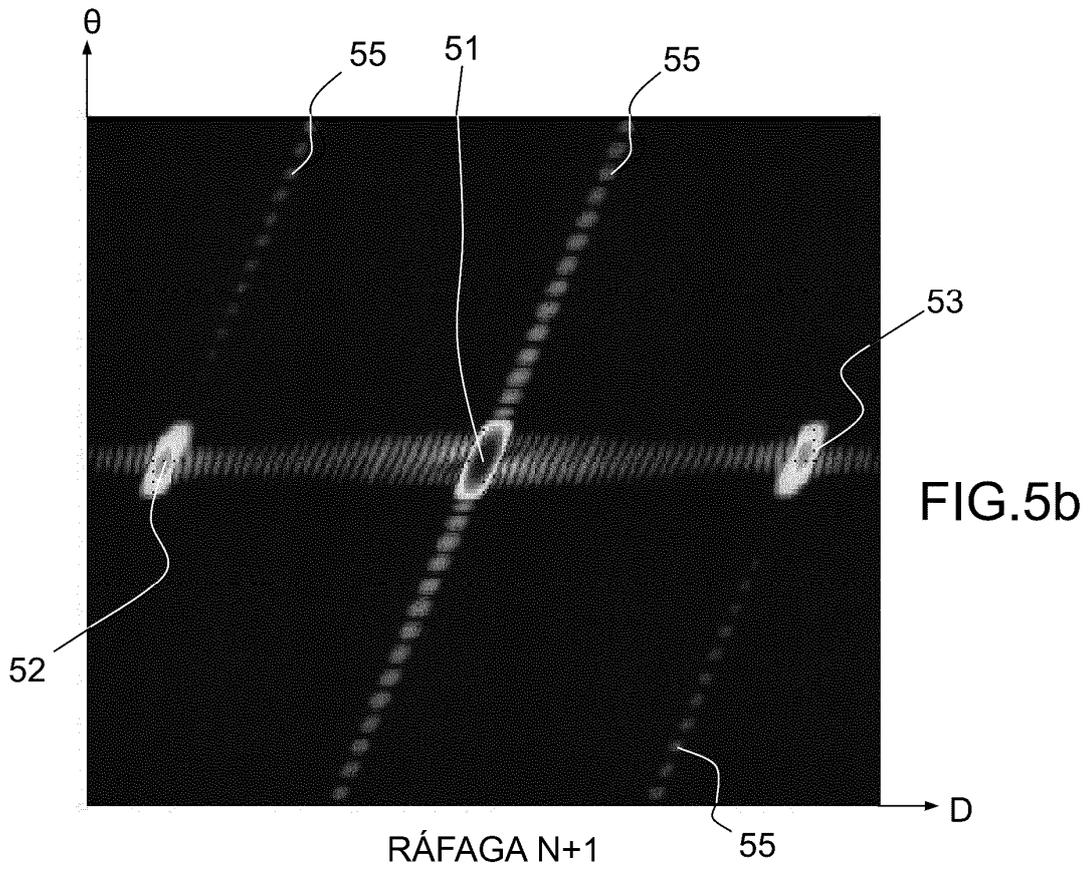


FIG.4d



RÁFAGA N  
FIG.5a



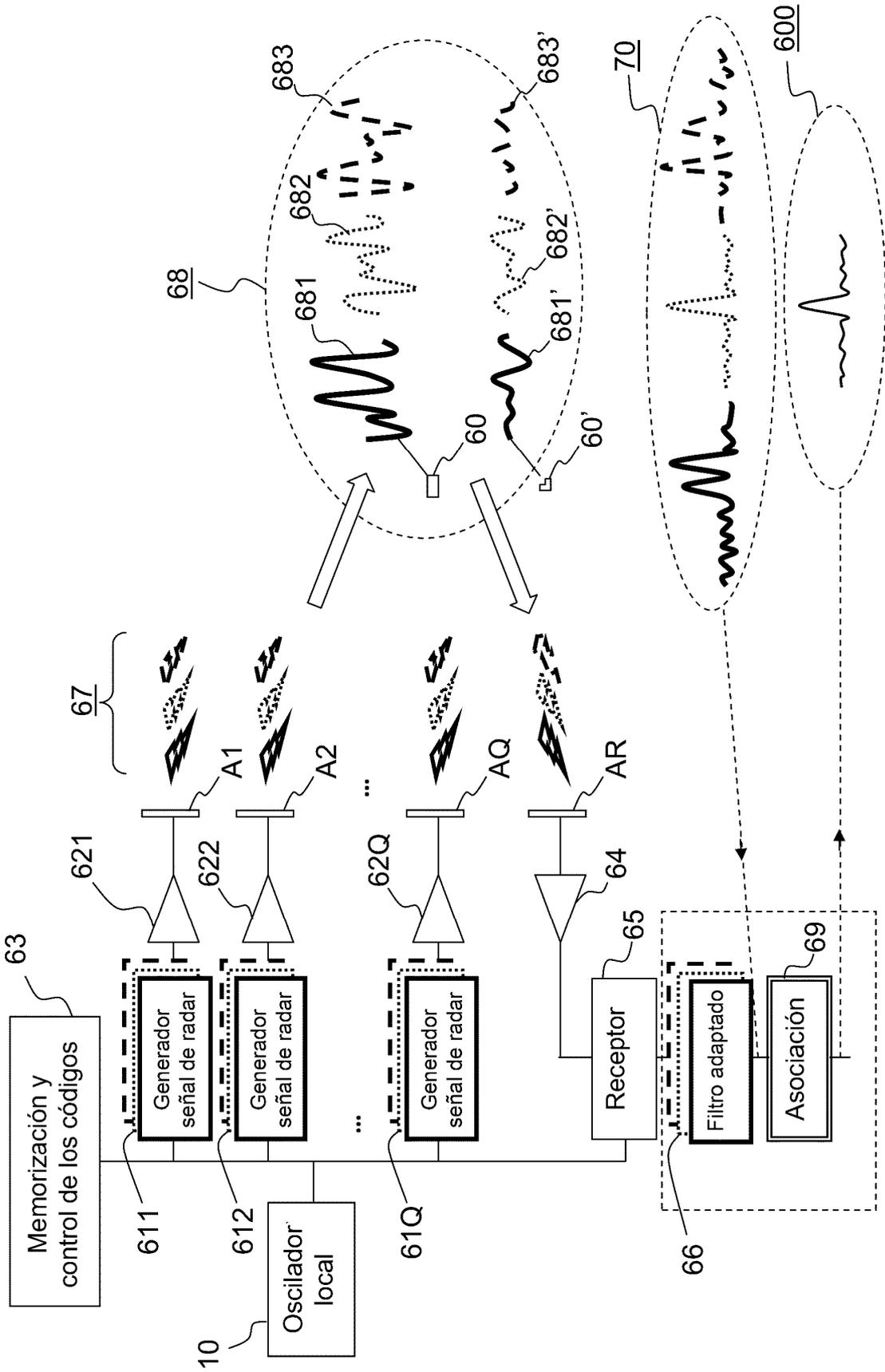


FIG.6

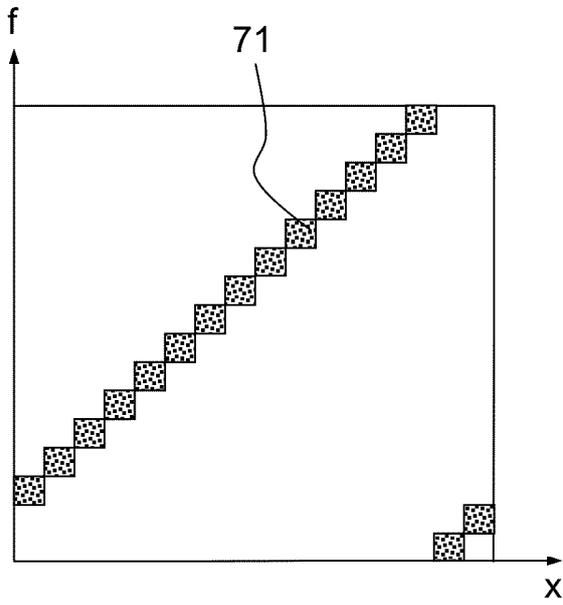


FIG. 7a

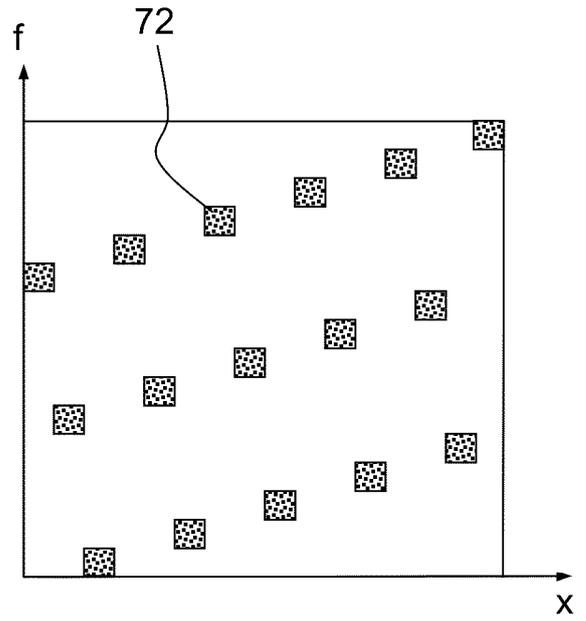


FIG. 7b

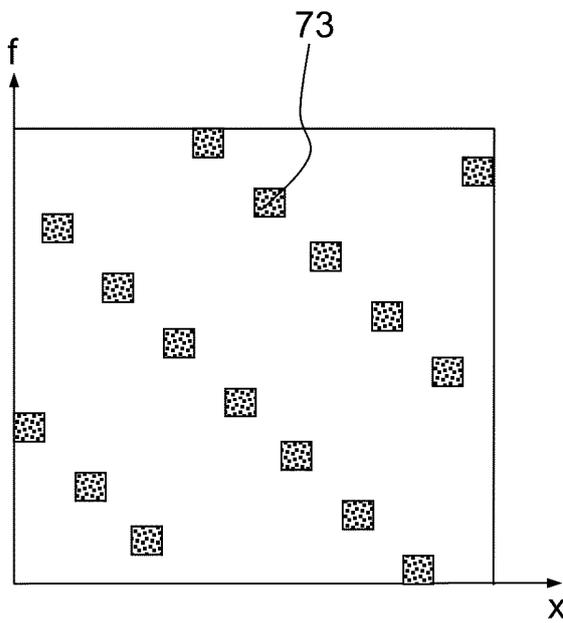


FIG. 7c

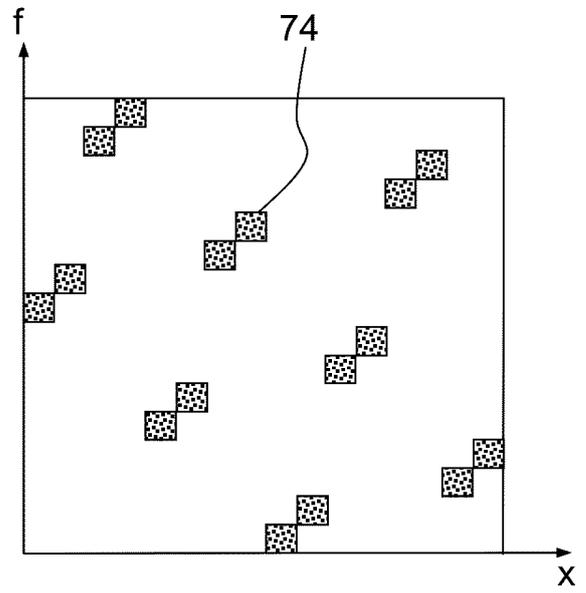


FIG. 7d