

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 387 612**

51 Int. Cl.:

G01S 7/35 (2006.01)

G01S 7/36 (2006.01)

G01S 13/34 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **97909815 .9**

96 Fecha de presentación: **16.10.1997**

97 Número de publicación de la solicitud: **0932837**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **04.08.1999**

54 Título: **Procedimiento para la eliminación de interferencia en una unidad de radar de tipo FMCW**

30 Prioridad:
17.10.1996 SE 9603810
20.12.1996 SE 9604774
20.12.1996 SE 9604775

73 Titular/es:
Saab AB
581 88 Linköping, SE

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
27.09.2012

72 Inventor/es:
TULLSSON, Bert-Eric

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
27.09.2012

74 Agente/Representante:
Durán Moya, Carlos

ES 2 387 612 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 para la eliminación de interferencia en una unidad de radar de tipo FMCW

5 La presente invención se refiere a un procedimiento para la eliminación de interferencias, tales como impulsos y chirridos lineales ("chirps") en una unidad de radar del tipo FMCW con barrido lineal de la frecuencia, en el que las señales transmitidas y recibidas son combinadas para formar una señal diferencial, la señal de pulsación ("beat"), con una onda para cada blanco, en el que la frecuencia, la amplitud y la fase de la onda contienen la información sobre el blanco. El procedimiento puede ser utilizado dentro del campo de los radares móviles, pero puede ser
10 utilizado asimismo en otras aplicaciones de radares FMCW.

El principio del radar lineal FMCW es bien conocido, ver por ejemplo Skolnik, "Introduction to Radar Systems", (Introducción a los sistemas de radar), 2ª edición, McGraw-Hill 1980, capítulo 3. Los avances técnicos de los últimos años, han tenido como resultado un incremento en la utilización de unidades de radar FMCW, a los cuales no se
15 dará más consideración en esta memoria. Una unidad de radar lineal FMCW (Onda continua con modulación de frecuencia) funciona, en principio, de la forma siguiente:

Un barrido de la frecuencia controla un oscilador con una frecuencia variable, de tal modo que la frecuencia transmitida varía periódicamente. Cada periodo tiene principalmente tres partes, a saber, una frecuencia base constante, un barrido lineal de la frecuencia y un rápido retorno a la frecuencia base. El barrido lineal de la frecuencia es el tiempo en que la unidad de radar está "llevando a cabo un trabajo útil" y a menudo constituye del 70 al 80% del tiempo total (factor de trabajo 0,7-0,8).

Por motivos de simplicidad, en la explicación siguiente, la unidad de radar y su blanco son estacionarios. En el caso de blancos móviles o de unidades móviles de radar, entra en juego asimismo el efecto Doppler. No obstante, en la mayor parte de los sistemas FMCW actuales, el efecto Doppler solamente implica una corrección reducida a lo que se indica a continuación.

El tiempo de propagación desde la unidad de radar hasta un blanco y retorno, es habitualmente de algunos microsegundos. Por consiguiente, una señal recibida desde un blanco tiene la frecuencia que fue transmitida un cierto tiempo antes. Como la frecuencia es barrida, esta no es la misma frecuencia que fue transmitida. La frecuencia recibida tiene asimismo un barrido lineal de la frecuencia. Como el barrido de la frecuencia recibida y el barrido de la frecuencia transmitida son paralelos con un desplazamiento en el tiempo igual al tiempo de propagación, como resultado, en el caso de un blanco fijo, la diferencia en frecuencia entre la señal transmitida y la recibida será constante. Esta diferencia constante de frecuencia es el producto entre el tiempo de propagación al blanco y el gradiente del barrido de la frecuencia expresado como frecuencia por unidad de tiempo.

El tratamiento de la señal en una unidad de radar FMCW consiste principalmente en la combinación de las señales transmitidas y las señales recibidas, de tal modo que se genera la señal diferencial (la señal de pulsación). Esta señal es la suma de un cierto número de ondas sinusoidales, en la que cada onda sinusoidal representa un blanco del radar. Las ondas sinusoidales tienen frecuencias, amplitudes y posiciones de fase diferentes, de acuerdo con el principio de que una amplitud grande corresponde a un blanco grande, una frecuencia elevada corresponde a un blanco situado a gran distancia. El efecto Doppler (debido a la velocidad relativa) afecta principalmente a las posiciones de fase.

Con el objeto de determinar qué blancos se están observando y sus dimensiones y velocidades relativas, se analiza la señal diferencial en base a la frecuencia. El análisis de la frecuencia se lleva a cabo mejor digitalmente mediante la señal diferencial que pasa a través de un filtro antiduplicados y se muestrea con una velocidad de muestreo constante, después de lo cual se multiplica la señal muestreada por una función de ventana para reducir la amplitud de la señal al inicio y al final del periodo de muestreo y es enviada a un procesador de señales que lleva a cabo una Transformación de Fourier discontinua (DFT), habitualmente con un algoritmo rápido, conocido como una FFT, Fast Fourier Transform (Transformación rápida de Fourier). La transformación de Fourier en general es compleja, pero para una señal en tiempo real (señal diferencial) tiene un cierto grado de simetría. Con el objeto de poder utilizar algoritmos FFT, el número de muestras seleccionadas habitualmente es una potencia de dos (256, 512, 1024, ...).
50 256 muestras proporcionan 256 coeficientes FFT, pero si la señal es real, la simetría significa que de estos 256 valores, solamente 128 (en realidad 129) son independientes.

Mediante una transformación de Fourier, por ejemplo, mediante la FFT, la señal se divide en un cierto número de componentes independientes de la frecuencia, senos. Cada frecuencia corresponde, tal como anteriormente, a una distancia. La magnitud de un coeficiente complejo de la FFT es la medición del radar de la zona del blanco (la potencia recibida) en el caso del blanco en la ventana de frecuencias correspondiente (ventana de la distancia). La FFT realiza lo que se conoce como una integración coherente de la señal del blanco, lo cual es ventajoso. El tratamiento posterior de la señal en el sistema se lleva a cabo digitalmente sobre los coeficientes FFT calculados.

65 Se puede demostrar que la anchura nominal de una ventana de distancia es inversamente proporcional al cambio en la frecuencia del barrido lineal de la FMCW durante el periodo de muestreo. En el caso de una resolución de la

distancia de 1 m, se requiere un cambio en la frecuencia de 150 MHz. Con el objeto de cambiar la resolución de la distancia, el gradiente del barrido de la frecuencia se puede modificar, por ejemplo, manteniendo constante el mismo tiempo de muestreo.

5 La velocidad de muestreo limita las frecuencias de la señal de pulsación que puede ser estudiada y, por ello, la distancia total de la zona observada. La anchura de esta "banda utilizable" que está situada paralela al barrido lineal de la FMCW, es frecuentemente menor de 1 MHz.

10 Una unidad de radar lineal FMCW puede estar sometida a interferencias si recibe señales diferentes de sus propias señales transmitidas, reflejadas desde los diversos blancos. La unidad de radar puede estar sometida a interferencias procedentes de otras unidades de radar, incluyendo unidades de radar pulsante, unidades de radar de compresión de impulsos y otras unidades de radar FMCW que estén funcionando al mismo tiempo y produciendo interferencias.

15 Un impulso durante el periodo de muestreo tiene una duración muy corta en el campo del tiempo, y es de una banda muy ancha en el campo de la frecuencia. Un impulso potente de interferencia solamente afecta a unas pocas muestras de la señal de pulsación, pero puede afectar a todas las ventanas de frecuencia en la transformación de Fourier. El "nivel de ruido" en la transformación de Fourier parece haberse incrementado, de manera que los blancos pequeños pueden quedar enmascarados por la interferencia.

20 Una forma muy común de interferencia es la que se conoce como un chirrido ("chirp"), en la que la forma de la onda que produce la interferencia se desplaza con frecuencia lineal de un lado a otro de la banda utilizable de la unidad de radar FMCW. Dichos chirridos son generados por una compresión de impulsos de la unidad de radar, y asimismo por otra unidad de radar FMCW si la forma de la onda transmitida por la unidad durante la fase básica y la fase de retorno, entra dentro de la banda utilizable de la primera unidad durante su periodo de muestreo. La tercera fase, el barrido lineal de la frecuencia, puede generar asimismo un chirrido si el barrido de la frecuencia de la unidad de radar que produce la interferencia tiene un gradiente diferente al del barrido de la frecuencia de la primera unidad de radar, por ejemplo, debido a que la unidad de radar que produce la interferencia tiene una resolución de distancia diferente.

30 La interferencia en forma de un chirrido lineal es siempre de banda ancha en la frecuencia, pero también puede tener una considerable duración en el tiempo y producir interferencias en la totalidad de la FFT y afectar a una parte muy grande de la señal de tiempo muestreada.

35 Existen asimismo chirridos cortos que apenas pueden distinguirse de los impulsos. Los chirridos que son producidos por la fase de base o por la fase de retorno de una unidad de radar FMCW y que producen interferencias, son de este tipo.

40 Las interferencias de corta duración tales como impulsos cortos o chirridos rápidos, en general, pueden ser detectadas y eliminadas en la señal de tiempo muestreada y, en general, se puede reconstruir luego una FFT sin interferencias. Una interferencia de chirrido de una gran magnitud tanto en el campo del tiempo como en el campo de Fourier, no puede, sin embargo, ser eliminada mediante una manipulación sencilla de la señal de tiempo sin tener consecuencias negativas para la FFT.

45 Según la presente invención, se propone un procedimiento para eliminar interferencias en unidades de radar del tipo FMCW que permite asimismo eliminar interferencias en un grado elevado, tanto en el campo del tiempo como en el campo de Fourier. El método según la invención se caracteriza porque el procedimiento comprende las etapas de:

50 (a) realizar una división tiempo-frecuencia de la señal diferencial para formar bandas individuales de frecuencia de dicha señal diferencial,

(b) detectar y eliminar interferencias por separado en cada una de dichas bandas de frecuencia para formar bandas de frecuencia libres de interferencias,

55 (c) calcular una señal de tiempo libre de interferencias a partir de dichas bandas de frecuencia libres de interferencias, y

(d) calcular una transformación de Fourier discontinua (DFT) a partir de dicha señal de tiempo libre de interferencias.

60 La señal de pulsación muestreada, la señal de tiempo, está situada completamente dentro del campo del tiempo. Las muestras proporcionan una resolución en el tiempo pero ninguna resolución en la frecuencia. La FFT es una descripción de la misma señal en el campo de Fourier. La FFT proporciona una buena resolución en frecuencia, pero ninguna resolución en tiempo. Una interferencia, por ejemplo, un chirrido, durante parte de la señal de tiempo, es visible de forma deficiente en el campo de Fourier. La información sobre la posición de la interferencia se encuentra principalmente en las fases de los valores complejos de la FFT y no en las magnitudes.

65

Lo que se conoce como una división tiempo-frecuencia hace posible obtener una cierta resolución (basta) de la señal en el campo del tiempo y en el campo de Fourier. Una división tiempo-frecuencia conocida es la transformación Wigner-Ville, esto es, lo que es conocido como transformación cuadrática, y de este modo crea productos falsos de modulación cruzada, ver Mayer, *Wavelets, Algorithms & Applications* (Trenes de ondas, algoritmos y aplicaciones), SIAM, Filadelfia, 1993. Otra división tiempo-frecuencia conocida es la transformación que se conoce como transformación de trenes de ondas, ver el libro anterior de Mayer, o Rioul/Vetterli, *Wavelets and Signal Processing* (Trenes de ondas y tratamiento de señales), IEEE Signal Processing Magazine (Revista IEEE de tratamiento de señales), Octubre 1991, que hace una división "musical" de las frecuencias. La división de frecuencias está realizada en escalas diferentes, en "octavas". En el caso de frecuencias elevadas, la resolución de la frecuencia (expresada en Hz) es más grosera pero la resolución en tiempo es más fina.

Para la aplicación de la atenuación de la interferencia en unidades de radar FMCW se propone, sin embargo, principalmente la división tiempo/frecuencia más simple, la transformación de Fourier de tiempo corto STFT, descrita en la referencia anterior de Rioul/Vetterli. La señal de tiempo se divide en tramos cortos que se pueden superponer. Cada tramo de señal se multiplica por una función de ventana y se calcula una Transformación de Fourier discontinua. Después de la eliminación de la interferencia en cada banda de frecuencias individualmente, se calcula la señal de tiempo original a partir de la STFT. Por consiguiente, la STFT puede contener información útil repetida (superpuesta).

A este respecto, se puede observar que es conocida la utilización de transformaciones tiempo-frecuencia en radares de banda ultra ancha, ver *PROCEEDINGS OF THE SPIE* (Actas de *THE SPIE*), (Volumen 2027, 1993 (USA), M.P.: FARGUES y otros, "Applications of Time-Frequency and Time-Scale Transforms to Ultra-Wideband Radar Transient Signal Detection" (Aplicaciones de las transformaciones tiempo-frecuencia y tiempo-escala en la detección de señales transitorias en radares de banda ultra ancha), páginas 180-193. Los radares de banda ultra ancha se caracterizan por un ancho de banda muy grande y una gama de resolución fina. Las aplicaciones potenciales de este tipo de radar incluyen la realización de mapas del terreno y de identificación/clasificación de blancos. Una transformación tiempo-frecuencia considerada es la Transformación de Fourier de tiempo corto (STFT).

A este respecto, es útil señalar que una unidad de radar FMCW es el único tipo corriente de unidad de radar en la que un blanco corresponde a una onda estacionaria con una cierta frecuencia y que de esta manera cumple con las condiciones para poder aplicar el análisis normal de Fourier con filtro de paso de banda o DFT (FFT).

Una forma de tratamiento de la señal en el plano tiempo-frecuencia adecuada, en el caso, por ejemplo, de sensores activos, es conocida a partir del documento EP 0 557 660, A2. En este caso se separa una señal entrante de banda ancha, mediante una batería de filtros de paso de banda, en un cierto número de señales cada una de las cuales está asignada a un canal independiente. Después del control de la ganancia y de la rectificación de medias ondas, se integran los componentes coherentes de las señales. De esta manera, se puede detectar un blanco simultáneamente en varias frecuencias diferentes y se puede utilizar lo mejor de cada frecuencia. Según el documento EP anterior, se evita de este modo la utilización de partes con interferencia. No obstante, al contrario de la invención de esta solicitud de patente, no existe eliminación de la interferencia, de tal manera que pueden utilizarse partes de la señal con interferencias.

En "Search Radar Detection and Track with the Hough Transform" (Detección de un radar de búsqueda y seguimiento con la transformación de Hough), de B.D. Carlson y otros, *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems* (Actas de la IEEE sobre sistemas electrónicos y aeroespaciales), Volumen 30, N° 1, Enero 1994, se describe la utilización de una transformación de Hough en el campo de un sistema de un radar de impulsos.

La detección de la interferencia en cada banda de frecuencias puede ser llevada a cabo de forma ventajosa mediante métodos adecuados para la detección de interferencias de corta duración.

En una versión adecuada del método, se realiza la detección de chirridos lineales y de impulsos por medio de métodos para la detección de líneas rectas en imágenes, por ejemplo, de tal modo que se identifican modelos de interferencia en forma de líneas rectas que se desvían de las líneas paralelas al eje de tiempos, estando relacionadas las líneas identificadas con la banda de frecuencia afectada, y se elimina la interferencia por separado en cada banda de frecuencia afectada. Dichos métodos son conocidos por el tratamiento de imágenes, ver por ejemplo, González/Woods, *Digital Image Processing* (Tratamiento de imágenes digitales), Addison-Wesley, 1992. Puede utilizarse una transformación de Hough para la detección de las líneas rectas.

En otra versión adecuada del método según la invención, se filtra la señal de pulsación en asociación con la división tiempo-frecuencia, en bandas de frecuencia estrechas de la señal, con el objeto de incrementar la sensibilidad de la detección. El filtro puede ser determinado utilizando métodos adaptativos. En una versión favorable, el filtro está aplicado a una o varias de las ventanas de la banda estrecha de frecuencia, en las bandas de frecuencia de banda estrecha de la división tiempo-frecuencia.

En otra versión adecuada del método según la invención, se reconstruye la señal de pulsación o señal utilizable después de la eliminación de la interferencia mediante la extrapolación de muestras sin interferencia, en una o varias de las ventanas de frecuencia de la banda estrecha, en las bandas de frecuencia de banda estrecha de la división tiempo-frecuencia.

5 La división STFT-tiempo-frecuencia para la detección de interferencias, la eliminación de interferencias y la síntesis de la señal utilizable tiene muchas ventajas, en particular en el caso de chirridos. Las ventajas tienen, en general, dos características. La primera es que un chirrido en cada ventana de frecuencia en la STFT es de corta duración y, por consiguiente, puede ser detectado/eliminado mediante los mismos métodos que, por ejemplo, los impulsos. La segunda es que, en la STFT, los chirridos son de banda estrecha en cada ventana de frecuencia y por consiguiente pueden ser descritos (reducidos a cero/extrapolados) utilizando fórmulas polinómicas simples de una estructura ya conocida.

10 El método según la invención será descrito a continuación con mayor detalle haciendo referencia a las figuras adjuntas, en las que:

15 La figura 1 muestra en forma de diagrama el principio de cómo funciona una unidad de radar lineal FMCW.

20 La figura 2 muestra ejemplos de barridos de frecuencia adecuados en un diagrama tiempo-frecuencia.

La figura 3 presenta muestras de una señal de pulsación simulada FMCW con ruido Gaussiano y una interferencia.

La figura 4 muestra la magnitud absoluta de la FFT para la señal de pulsación de la figura 3.

25 La figura 5 muestra el resultado de un análisis tiempo/frecuencia de la señal de pulsación de la figura 3.

La figura 6 muestra la magnitud absoluta de la FFT para una señal de pulsación en la figura 3, sin interferencia.

30 La unidad de radar mostrada en la figura 1 incluye un transmisor -1- y un receptor -2-. Una antena -3- está conectada al transmisor y al receptor a través de un dispositivo de circulación -4-. En el transmisor existe un dispositivo -5- de control del oscilador conectado a un oscilador -6- de frecuencia variable. El barrido de la frecuencia desde el dispositivo -5- de control del oscilador, controla el oscilador -6-, de tal modo que se genera una señal con una frecuencia que varía periódicamente, cuya señal es transmitida mediante la antena -3- a través de un dispositivo -7- de acoplamiento de la dirección y del dispositivo de circulación -4-. El periodo de un barrido de frecuencia, ver figura 2, tiene principalmente tres partes en la forma de una frecuencia básica constante -30-, una frecuencia lineal de barrido -31- y un retorno rápido -32- a la frecuencia básica. El oscilador -6- puede funcionar dentro de la gama de los Gigaherzios, por ejemplo, 77 GHz. La señal reflejada recibida por la antena -3- es captada a través del dispositivo de circulación hasta un mezclador -8-, en donde la señal reflejada se combina con la señal transmitida. Después de la amplificación en el amplificador -9- y del filtrado en el filtro -10-, se obtiene una señal diferencial o señal de pulsación que se utiliza como base para el tratamiento posterior de la señal para detectar y eliminar la interferencia y para la síntesis de la señal utilizable sin interferencia en un bloque de tratamiento -11- que puede contener asimismo lo que se conoce como procesador FFT -11'-.

45 En las figuras 3 - 6 se muestra un ejemplo de cómo la división tiempo-frecuencia puede hacer posible el análisis de una señal diferencial con interferencia.

50 La figura 3 muestra 1024 muestras de una señal de pulsación FMCW (señal de tiempo) que está simulada como un cierto número de señales seno/coseno + ruido Gaussiano + una interferencia. Es difícil a simple vista localizar y caracterizar con precisión la interferencia.

La figura 4 que muestra la magnitud absoluta de la FFT para la señal de pulsación de la figura 3, muestra cuatro picos distintos -12-, -13-, -14- y -15-, por encima de una base de alto ruido. Cada pico -12- a -15- corresponde a un blanco. En la figura 4 tampoco es posible caracterizar la interferencia.

55 La figura 5 muestra el resultado de un análisis tiempo-frecuencia de la señal de pulsación de la figura 3. Se ha utilizado la STFT en 64 muestras, una cada vez, con superposiciones. En la figura 5, se deduce directamente de la V -16- que puede verse en el centro de la señal, que la interferencia es un chirrido lineal ("chirp"). La explicación de que el chirrido (chirp) es una V y no simplemente una línea, es que el análisis FFT utilizado no puede distinguir entre frecuencias positivas y negativas. Los picos dominantes en el espectro aparecen como bandas horizontales -17- a -21- correspondientes a ondas sinusoidales estacionarias con frecuencia constante. En la figura 5, la resolución de la frecuencia es bastante buena y los dos picos -14-, -15- de la figura 4 se desplazan en parte juntos en una única banda ancha -19-, -20-. Una banda horizontal -21- a una frecuencia Nyquist aproximada de $0,8^*$ no se corresponde con ningún pico en la figura 4.

Mediante el estudio de la señal simulada sin interferencia y sin chirridos, mostrada en la figura 6 como la magnitud absoluta de la FFT, aparece un quinto pico -22- asociado con la banda -21- correspondiente a un quinto blanco. En la figura 4, este pico está completamente oculto por la interferencia.

5 Una de las grandes ventajas de la división tiempo-frecuencia (STFT) para la eliminación de interferencias en las señales FMCW puede verse por medio de la comparación entre la figura 5 y la figura 3. En la figura 3, la interferencia es larga. La longitud de la interferencia corresponde a la proyección de la V sobre el eje horizontal de tiempos en la figura 5. En cada ventana de frecuencia en la figura 5, la interferencia es, por otra parte, relativamente corta.

10 Mediante el tratamiento de cada ventana de frecuencia de forma individual en una STFT, pueden detectarse y eliminarse los chirridos utilizando los mismos métodos que se utilizan para las interferencias de corta duración, impulsos. La V -16- en la figura 5 puede ser detectada y eliminada, y las bandas horizontales y las señales utilizables pueden ser reconstruidas, después de lo cual puede calcularse la señal de tiempo reconstruida sin interferencias, y puede calcularse la FFT sin interferencias a partir de la STFT. Este es el principio tras el método según la invención.

15 La figura 5 muestra, según se ha indicado anteriormente, que aparece un chirrido como una V, indicada con el numeral -16- en una división STFT. De la misma forma, un impulso aparece como una línea vertical localizada en el tiempo, pero de banda ancha. Sin embargo, las señales utilizables son líneas horizontales. Por lo tanto, es posible detectar interferencias del tipo de impulso o de chirrido lineal mirando una imagen STFT en busca de líneas que no sean paralelas al eje de tiempos. Dichos métodos son conocidos por el tratamiento de imágenes, ver por ejemplo la referencia González/Woods mencionada anteriormente. A este respecto, en el capítulo 7 se describe un método adecuado con esta referencia y está basado en lo que se conoce como transformación Hough.

20 A continuación se comentarán con mayor detalle los principios del filtrado de la señal utilizable.

25 La señal utilizable en una unidad de radar FMCW, es decir, la señal que corresponde al blanco real, es una suma de ondas sinusoidales. Una señal consistente en una única onda sinusoidal, muestreada con frecuencia constante, tiene una relación lineal simple entre las muestras. Supongamos que la señal puede ser escrita como $\text{sen}(\omega t + \varphi)$. Entre dos muestras, el ángulo de fase de la onda sinusoidal cambia de esta manera mediante el ángulo $\omega T = \theta$, en que T es el intervalo de muestreo. Según la identidad trigonométrica

30
$$\text{sen}(\alpha + \theta) + \text{sen}(\alpha - \theta) = 2 * \cos(\theta) * \text{sen}(\alpha)$$

35 Este es el caso para tres muestras sucesivas de la señal que:

$$x(n + 1) + x(n - 1) = 2 * \cos(\theta) * x(n)$$

40 Se debe tener en cuenta que esto es aplicable a pesar de la amplitud de la señal. Esta relación lineal puede ser interpretada de diversas formas:

45 a) si la señal pasa a través de un filtro FIR (Finite impulse response) (respuesta a impulsos finitos) con los coeficientes $[1 - 2*\cos(\theta) \ 1]$, la señal de salida -y- del filtro será igual a 0:

$$y(n) = x(n) - 2*\cos(\theta) * x(n - 1) + x(n - 2)$$

Por consiguiente, es posible atenuar fuertemente la señal con un único filtro FIR con coeficientes constantes.

50 b) Si la relación se escribe en cambio como:

$$x(n + 1) = 2*\cos(\theta) * x(n) - x(n - 1)$$

55 se puede ver que la muestra siguiente puede ser predecible mediante una combinación lineal a partir de la muestra inmediatamente anterior.

60 En el caso de una señal que consista en varias ondas sinusoidales con distintas frecuencias, pueden crearse los filtros correspondientes mediante la multiplicación de filtros FIR de segundo orden. Una señal que es la suma de cuatro ondas sinusoidales diferentes, es decir, una señal FMCW con cuatro blancos potentes, puede ser reducida de este modo a cero mediante un filtro FIR de orden 8 y puede predecirse linealmente una muestra a partir de las 8 precedentes.

65 En el caso de una señal FMCW general estas relaciones son aproximadas pero se puede decir que lo siguiente, en general, es aplicable:

1. Es posible atenuar fuertemente una señal FMCW por medio de un filtro lineal FIR adecuado de un orden adecuado.

2. Es posible predecir linealmente una señal FMCW utilizando una relación lineal adecuada de un orden adecuado.

La aplicación del punto 1 es que la sensibilidad de la detección de una interferencia aumenta considerablemente si la señal utilizable es filtrada previamente de una manera adecuada. En la figura 5 esto corresponde a las bandas horizontales que han sido filtradas. Entonces solo permanece la interferencia contra un fondo débil. Esto permite la detección de interferencias con una amplitud que es muy inferior a la de la señal utilizable, por ejemplo, una señal que es completamente invisible mediante el análisis de las amplitudes en la figura 3, pero que sigue incrementando el ruido básico en la FFT de la figura 6.

El punto 2 hace posible interpolar la señal utilizable más allá de un tramo corto con interferencias, lo cual será descrito con mayor detalle más adelante.

Un filtro "adecuado" se puede calcular de diversas formas, o se puede calcular como un filtro adaptativo. Ambos problemas, según los puntos 1 y 2 anteriores son conocidos a partir del tratamiento de la señal adaptativa, ver por ejemplo Haykin, Adaptive filter theory (Teoría del filtro adaptativo), 2ª edición, Prentice Hall, 1991. Los coeficientes se pueden determinar mediante los algoritmos habituales, por ejemplo, LMS, LMS estandarizado, RLS, etc., ver en particular los capítulos 9 y 13 de la referencia anterior.

Mediante la determinación adaptativa de un filtro, a menudo es posible utilizar el hecho de que la antena del radar ha girado, aunque solo sea una fracción del ancho del haz, desde el barrido de frecuencia FMCW anterior. Las ondas sinusoidales dominantes en las señales de dos barridos FMCW consecutivos dan como resultado casi la misma frecuencia y casi la misma amplitud. Por consiguiente, los valores iniciales de la adaptación pueden ser seleccionados como los valores finales de la adaptación durante el barrido FMCW anterior.

Asimismo, es importante observar que en cada ventana de frecuencia en una división STFT de la señal, los filtros son muy simples. En cada ventana de frecuencia la señal es de banda estrecha y la frecuencia media de la ventana es conocida. Esto significa que el cambio de fase entre dos muestras sucesivas es conocido, y simplemente un filtro de segundo orden proporciona un muy buen efecto.

A continuación se comenta el sintetizado de la señal utilizable.

Un método habitual para atenuar la interferencia es detectar la interferencia, por ejemplo un impulso, mediante la señal de amplitud que es anormalmente grande y a continuación realizar el corte de la señal, preferentemente al nivel 0. Esto puede, en sí mismo, eliminar la interferencia, pero afecta negativamente a la FFT al afectar, asimismo, a la señal utilizable.

La condición previa en el caso de una FFT es que la muestra sea muestreada de manera equidistante durante un periodo de tiempo adecuado. El corte de la señal elimina muestras. Se puede decir que la base de tiempo de la señal utilizable queda afectada. Una consecuencia es que en el campo de Fourier los distintos blancos están ensanchados lo cual, entre otras cosas, puede tener como resultado una reducción de la resolución.

Un método muy útil es reforzar la eliminación de la interferencia mediante una síntesis de la señal utilizable. En este caso puede utilizarse el punto 2 anterior. La síntesis puede consistir en una extrapolación (en un extremo) o una interpolación (en los dos extremos) de la señal en base a valores sin interferencia. Dicha síntesis puede tener como resultado una mejora espectacular en la reconstrucción de la señal FMCW sin interferencia y de su FFT.

La fórmula polinómica de la interpolación/extrapolación puede ser determinada de forma adaptativa o de otra forma, tal como se ha mencionado anteriormente. La interpolación es particularmente sencilla si la señal es de banda estrecha, ya que habitualmente es suficiente una interpolación polinómica de orden bajo.

La interpolación/extrapolación es numéricamente sensible, entre otras cosas, teniendo en cuenta el hecho de que las raíces de la fórmula polinómica o de la extrapolación están situadas en el círculo de las unidades o cerca del mismo, y por consiguiente la interferencia numérica no desaparece, y por otros motivos puede asimismo ser llevada a cabo solamente durante periodos cortos de tiempo. Por consiguiente, no es posible simplemente interpolar/extrapolar más allá de un chirrido de una cierta longitud.

Este problema se puede resolver, según la presente invención, llevando a cabo una STFT en la señal con interferencia. En cada ventana de frecuencia existirá, por lo tanto, solamente un chirrido de corta duración. Además los componentes de la señal en cada ventana de frecuencia son de banda estrecha, lo cual, según lo anterior, hace mucho más sencilla la interpolación/extrapolación.

REIVINDICACIÓN

1. Procedimiento para detectar interferencias en forma de impulsos y de chirridos ("chirps") lineales en una unidad de radar FMCW con barrido lineal de la frecuencia, para detectar blancos, en el que las señales transmitidas y recibidas son combinadas para formar una señal diferencial, la señal de pulsación, con una onda para cada blanco, en el que la frecuencia, la amplitud y la fase de la onda contienen la información sobre el blanco, **caracterizado porque** el procedimiento comprende las etapas de:
- 5
- (a) someter la señal diferencial a una división tiempo-frecuencia llevada a cabo mediante una Transformación de Fourier de tiempo corto (STFT), y
- 10
- (b) detectar las interferencias en la señal transformada, la cual se transforma mediante una transformación de Hough para detectar líneas rectas en una imagen STFT, que no son paralelas al eje de tiempos.

Fig. 1

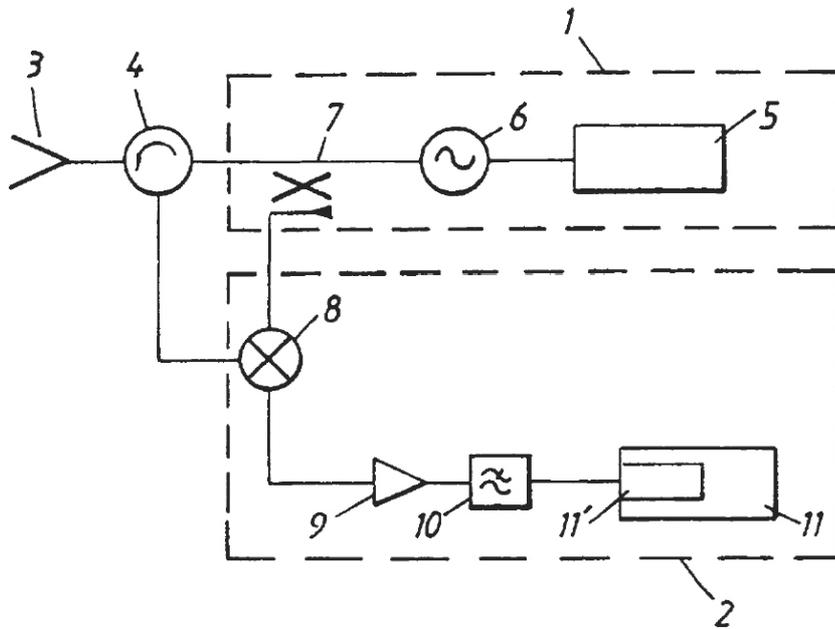
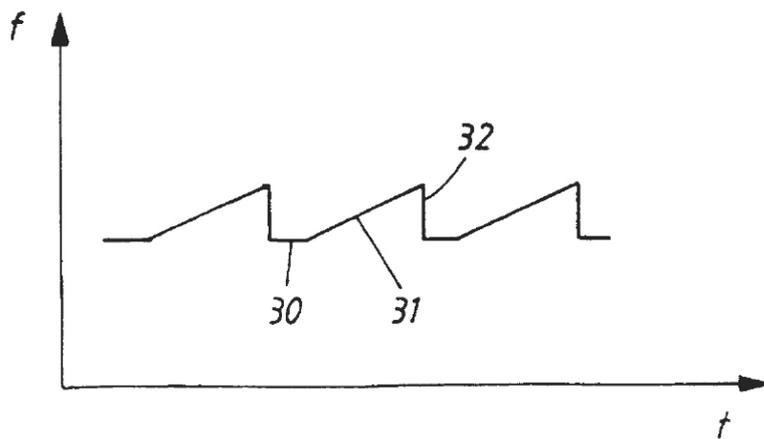


Fig. 2



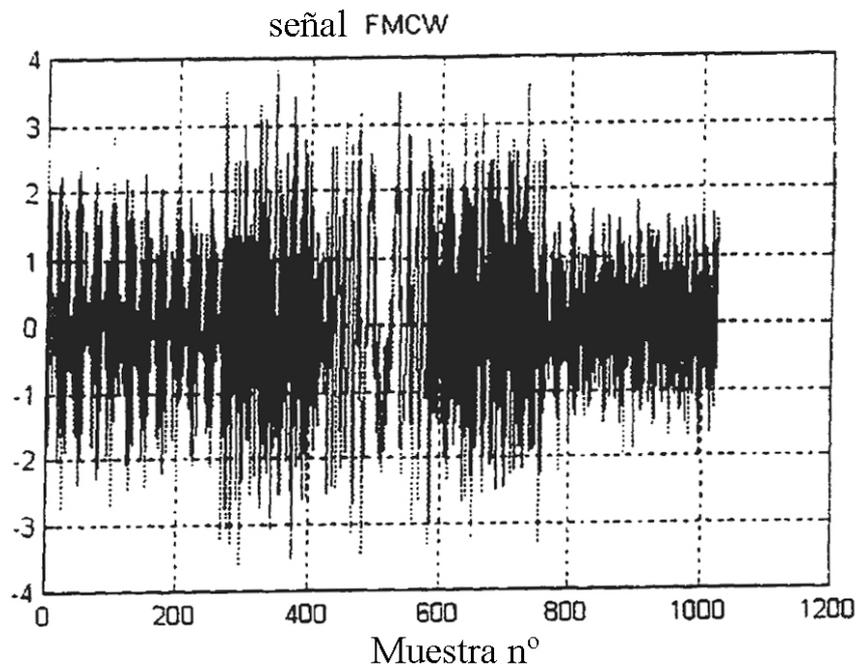


Fig. 3

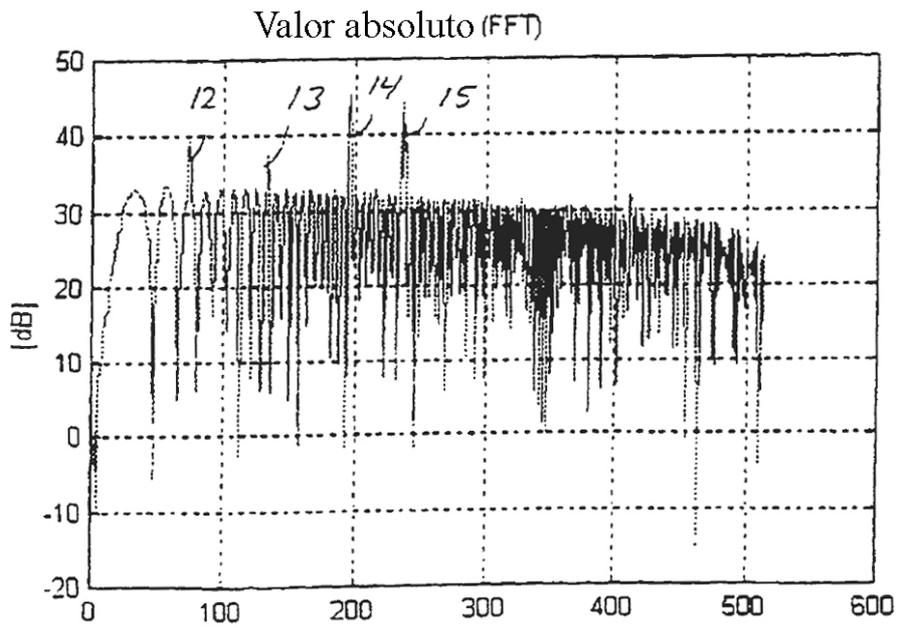


Fig. 4

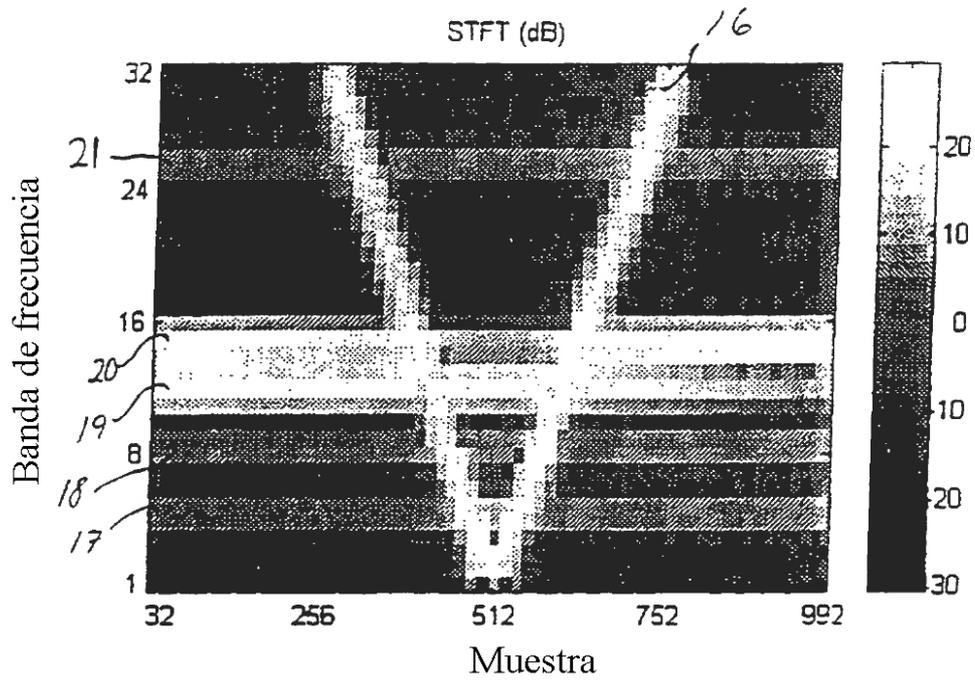


Fig. 5

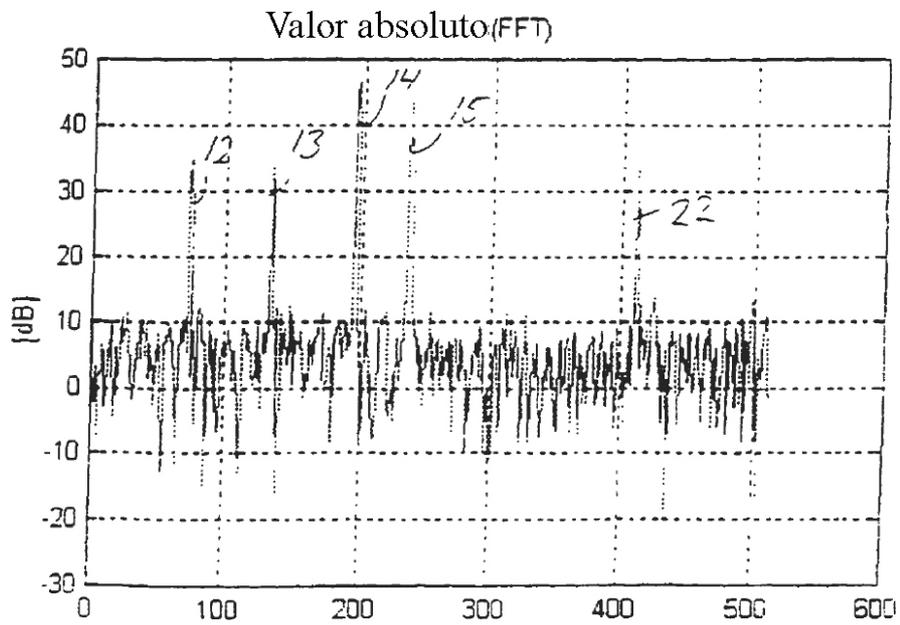


Fig.6