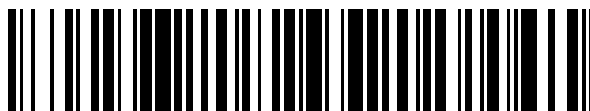


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 544 952**

51 Int. Cl.:

**G01S 15/10** (2006.01)

**G01S 7/52** (2006.01)

**G01S 7/524** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.10.2006 E 06825741 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.07.2015 EP 1938126**

54 Título: **Sistema de sonar y método que proporciona baja probabilidad de impacto sobre mamíferos marinos**

30 Prioridad:

**21.10.2005 US 728955 P**

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

**07.09.2015**

73 Titular/es:

**RAYTHEON COMPANY (100.0%)  
870 Winter Street  
Waltham, MA 02451-1449, US**

72 Inventor/es:

**ROONEY, III, JAMES H.;  
GRATKE, JESSE T.;  
LEWIS, RYAN J.;  
JANIK, MICHAEL F.;  
PEDERSON, THOMAS B.;  
ZURAWSKI, WILLIAM C. y  
MILLER, JAMES H.**

74 Agente/Representante:

**UNGRÍA LÓPEZ, Javier**

**ES 2 544 952 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 sonar y método que proporciona baja probabilidad de impacto sobre mamíferos marinos

**5 Campo de la invención**

La presente invención se refiere en general a sistemas y métodos de sonar y, más particularmente, a sistemas y métodos de sonar activos que transmiten señales de sonido en el agua, que proporcionan un impacto reducido sobre los mamíferos marinos.

10

**Antecedente de la invención**

Ha habido muchos casos de varamientos de mamíferos marinos que han sido local y temporalmente coincidentes con ejercicios navales en los que se utilizaron sistemas de sonar activos. Ha habido una percepción pública de que el sonido generado por los sistemas de sonar activos provoca daños en los tejidos de los mamíferos marinos, que tiende a hacer que los mamíferos marinos queden varados. Como es sabido, quedar varados ha causado la muerte en algunos mamíferos marinos.

15

Como resultado de la percepción negativa del público de sistemas de sonar activos navales, la Marina de los Estados Unidos ha invertido una gran cantidad de tiempo y dinero en la realización de investigaciones científicas sobre los efectos del sonido submarino de baja frecuencia en los seres humanos y en los mamíferos marinos, que ha dado lugar a un declaración de impacto ambiental y las investigaciones en curso sobre las causas de estos incidentes de mamíferos marinos. Existe controversia pública sobre el uso del sistema de sonar activo naval y otros sistemas de sonar activo de frecuencia media.

20

25

Sería útil proporcionar un sistema de sonar activo que generalmente sea inocuo para los mamíferos marinos. Sin embargo, como el sistema aún debe cumplir con los requisitos de la misión de la Marina para la detección, localización y/o la clasificación de dianas submarinas.

30

Se ha generado una hipótesis que sobre el impacto de los sistemas de sonar activo naval de frecuencia media en los mamíferos marinos. En particular, se ha planteado la hipótesis de que las señales de sonido activos de frecuencia modulada particulares transmitidos por los sistemas de sonar activo de frecuencia media comparten características de sonido similares con las señales de sonido naturales generadas por las orcas. La hipótesis sugiere, además, que cuando los mamíferos marinos detectan una o más de dichas señales de sonido de frecuencia modulada, en particular, las señales de sonido generadas por los sistemas de sonar a bordo de una pluralidad de buques navales que maniobran para triangular sobre una diana submarina, los mamíferos marinos pueden percibir señales de sonido que se generan por una manada de orcas que cazan presas. Esta percepción por los mamíferos marinos afectados puede provocar una respuesta conductual de "huida" para huir de la zona, lo que puede dar lugar a varamientos.

35

40

Se ha planteado la hipótesis, además, que las especies de ballenas picudas se ven particularmente afectadas por estas señales de sonido de frecuencia de frecuencia media modulada en particular y maniobras de triangulación. Como se sabe, aproximadamente una cuarta parte de las ochenta especies de ballenas y delfines del mundo pertenece a la familia de los zifios (Ziphiidae), sin embargo, ya que muchos de estos mamíferos marinos prefieren un hábitat de aguas profundas, el estudio y el conocimiento de estos mamíferos marinos y sus comportamientos es relativamente nuevo.

45

Mientras que algunos han planteado la hipótesis de que los mamíferos marinos son fisiológicamente dañados por el sonido emitido por los sistemas de sonar activos navales, necropsias de ballenas picudas que han varado después de los ejercicios de sonar activos navales no han mostrado ninguna evidencia concluyente de hemorragia u otros daños fisiológicos resultantes de los sistemas de sonar activo, en particular, como resultado de los niveles de presión sonora asociados con los sistemas de sonar activos. Además, no ha habido evidencia de que los mamíferos marinos hayan experimentado el síndrome de descompresión (desgasificación de nitrógeno en la corriente de sangre debido a la despresurización rápida a partir de un cambio de profundidad rápido). Por lo tanto, los varamientos de ballenas picudas se cree que son el resultado de un comportamiento en respuesta a las señales sonoras de frecuencia modulada particulares generadas por los sistemas de sonar activos navales.

50

55

Haciendo referencia a las figuras 1-1B, una grabación sonora de una orca (ballena asesina) se presenta en una variedad de formatos gráficos. Haciendo referencia primero a la figura 1, un gráfico 10 tiene un eje horizontal en unidades de tiempo en segundos y un eje vertical en unidades de amplitud en unidades arbitrarias. Una curva 12 es una forma de onda de tiempo indicativa de una señal de sonido ejemplar generada por una orca. La forma de onda 12 se ha normalizado para contener amplitudes de pico que residen dentro de los límites de amplitud de +/- 1,0. Se puede observar a partir de este ejemplo de sonido generado por la orca que esta forma de onda tiene una duración de aproximadamente un segundo. La curva 12 tiene primera y una segunda parte 12a, 12b, respectivamente, que no son necesariamente características de todos los sonidos generados por las orcas.

60

65

Con referencia ahora a la figura 1A, un gráfico 20 tiene un eje horizontal en unidades de frecuencia en Hertz y un eje vertical en unidades de amplitud en decibelios. Una curva 22, que es un espectro de potencia, se calcula mediante el cálculo de un único registro de Transformada de Fourier sobre toda la duración de la transmisión de la orca que se muestra en la forma de onda 12 de la figura 1. La curva de espectro de potencia 22 se ha normalizado a tener un pico de cero decibelios. Un pico 22a se asocia con el ruido de fondo del océano. Un pico 22b es representativo de sonido generado por la orca.

Con referencia ahora a la figura 1B, un gráfico 30 incluye una escala horizontal en unidades de frecuencia y una escala vertical en unidades de tiempo en segundos. El gráfico 30 es un espectrograma representativo de la señal acústica generada por una orca de acuerdo con la forma de onda de tiempo 12 de la figura 1. Una primera curva 32a se extiende por un período de tiempo de aproximadamente un segundo. Una segunda curva 32b se extiende por un período de tiempo de aproximadamente 0,5 segundos. Una tercera curva 32c se extiende por un período de tiempo de aproximadamente 0,3 segundos. Las tres curvas 32a-32c corresponden a la forma de onda de tiempo 12 de la figura 1 y para el espectro de potencia 22 de la figura 1A. Cada una de las tres curvas 32a-32c tiene una frecuencia que cambia con respecto al tiempo, llegando a ser superior en frecuencia a medida que avanza el tiempo. Por lo tanto, cada una de las curvas 32a-32c es un barrido de frecuencia (también denominado aquí como un chirrido o una señal de sonido de frecuencia modulada) que tiende a aumentar en frecuencia con el tiempo.

Una tercera dimensión está representada en el gráfico 30 por una intensidad de cada una de las curvas 32a-32c, donde una porción más oscura de las curvas 32a-32c es representativa de un mayor poder de sonido.

El espectrograma 30 presentado en la figura 1B está normalizado (de acuerdo con el espectro de potencia de la figura 1A) para contener un nivel de potencia máximo de 0 dB. Un piso de 40 dB fue empleado para limitar el rango dinámico de los niveles de la espectrograma de 30 a 40 dB. Se emplea el rango dinámico de 40 dB para permitir una representación del espectrograma 30 que podría interpretarse visualmente sobre un mapa de color de valor 256.

Las curvas 32a-32c representan una señal de sonido complejo generada por la orca que incluye componentes espectrales armónicamente espaciados que cambian de frecuencia como una función del tiempo en un amplio rango de frecuencias.

Se presume que sólo una orca contribuyó a la señal de sonido representada por las curvas 12, 22, 32a-32c de las figuras 1, 1A, y 1B, respectivamente. Esta presunción se basa en las características de las tres curvas 32a-32c de la figura 1B, que tiene pendientes de frecuencia versus tiempo similares. Estas tres curvas 32a-32c también comienzan simultáneamente. La probabilidad de mamíferos independientes que produzcan el sonido representado por las curvas 32a-32c, que tienen tiempos de inicio concurrentes, frecuencia similar en comparación con pistas de tiempo, y estén espaciadas armónicamente, se considera que es muy baja.

Los componentes armónicos evidentes en la figura 1B parecen estar producidos naturalmente por la orca y no son probablemente el resultado de la grabación de la señal o de artefactos de procesamiento de la señal. Si el contenido de armónicos se introdujo en el proceso de grabación en lugar de por parte de la orca, el contenido armónico sería probablemente un resultado de recortar una señal. Sin embargo, el recorte tiende a generar armónicos en múltiplos impares de un componente fundamental. Este no es el caso en la figura 1B. Las curvas 32a-32c corresponden a los dos armónicos pares e impares.

Se apreciará que un barrido de frecuencias representado por las curvas 32a-32c está dentro de una banda de frecuencia media de alrededor de 1 kHz a 5 kHz. En la descripción a continuación, algunas características del barrido de frecuencia representada por las curvas 32a-32c se comparan con las características de una forma de onda ejemplar que emplea un barrido de frecuencia, que es representativo de una forma de onda que puede ser utilizada por un sistema de sonar activo de frecuencia media convencional.

Los sistemas de sonar activos convencionales pueden emplear una variedad de formas de onda de transmisión que se pueden seleccionar sobre la base de un objetivo o misión deseada. Las formas de onda de ejemplo incluyen, pero no se limitan a, un pulso tonal de frecuencia única, una forma de onda de modulación de frecuencia lineal (LFM), y una forma de onda modulada de periodo lineal (LPM) (también referida a veces como forma de onda de modulación de frecuencia hiperbólica (HFM) o una forma de onda de modulación de fase logarítmica).

El uso de la forma de onda de HFM proporciona una variedad de beneficios, incluyendo la mitigación de la degradación de la forma de onda de compresión generada por procesamiento de correlación cuando se recibe una forma de onda Doppler distorsionada como una entrada. Como es sabido, la señal de sonido de HFM optimiza una llamada Ley de modulación de frecuencia para su uso en señales de sonido afectadas por Doppler que tienen un producto de gran ancho de banda-tiempo. Suponiendo que un período instantáneo es lineal optimiza la Ley de modulación de frecuencia. Los parámetros de pendiente y de intersección y gobiernan la forma de onda de HFM como puede verse en las ecuaciones más adelante. La forma de onda de HFM se puede escribir como:

$$s(t) = A(t) \cos \left[ \frac{2\pi}{b} \ln \left( 1 + \frac{b}{T_0} t \right) \right]$$

$$0 \leq t \leq T_0$$

Ecuación (1)

$A(t)$  = Función de amplitud de ventana

$T(t) = T_0 + bt$  = Período instantáneo

$b$  = Pendiente del período instantáneo

$T_0$  = Intercepción Y del período instantáneo

Con referencia ahora a la figura 2, un gráfico 40 incluye un eje horizontal en unidades de tiempo en segundos y una escala vertical en unidades de amplitud. Una curva 42 es representativa de una forma de onda de tiempo ejemplar asociada con una señal de sonido generada por un sistema de sonar convencional. La forma de onda de tiempo 42 tiene una frecuencia portadora de aproximadamente 3500 Hz, una duración de tiempo de aproximadamente un segundo, y un ancho de banda de aproximadamente 1000 Hz. Un tiempo de duración de aproximadamente un segundo y un ancho de banda de aproximadamente 1000 Hz son elegidos por la forma de onda convencional ejemplar 42 basada en observaciones del espectrograma 30 de la figura 1B. Se elige una frecuencia central de 3500 Hz para colocar la forma de onda de HFM ejemplar 42 en la banda de frecuencias medias.

En la escala de tiempo particular mostrada, los ciclos individuales de la forma de onda 42 no son visibles. Sin embargo, una envolvente de amplitud 42a curvada, representativa de una ventana de amplitud ejemplar (o temporal) (o función de ponderación), que se describe con más detalle a continuación, es visible. La forma de onda de tiempo 42 se ha normalizado para contener una amplitud de pico que reside dentro de los límites de amplitud de +/- 1,0. La forma de onda de tiempo 42 tiene una frecuencia modulada (FM) de barrido de frecuencia, que tampoco es visible en la escala de tiempo que se muestra. El barrido de FM puede ser un barrido de frecuencia hiperbólica FM (HFM). Tal como se utiliza aquí, el término "chirrido" se utiliza para describir una señal de frecuencia que cambia con el tiempo a partir de una frecuencia de inicio a una frecuencia de parada. La forma de onda de tiempo de FM 42 se puede generar usando un barrido de frecuencia ascendente o descendente como una función del tiempo. En este ejemplo, se empleó una característica de barrido de frecuencia ascendente. Un barrido de frecuencia ascendente fue elegido para el ejemplo de forma de onda de HFM para ser consistente con el comportamiento observado en el espectrograma generado a partir de la grabación de la transmisión de la orca.

La forma de onda de tiempo ejemplar HFM 42 de la figura 2 tiene una función de ponderación de amplitud temporal representada por la función envolvente curvada de la curva 42a. La función de ventana temporal 42a representa una función de ventana gaussiana que emplea un valor de alfa que es 1,5.

Se realizan comparaciones de rendimiento por debajo entre varias formas de onda hechas por el hombre (que se construyeron a partir de productos de tiempo-ancho de banda idénticos) se basan en funciones de autocorrelación y ambigüedad. Algunos de los parámetros de rendimiento que se derivan de las funciones de autocorrelación y la ambigüedad incluyen, pero no se limitan a:

- un nivel de interferencia del lóbulo lateral máxima esperada en el dominio de tiempo (o rango)
- un nivel de interferencia de lóbulo lateral máxima esperada en el dominio de frecuencia (o Doppler)
- un rango de resolución óptima teórica (gobernada por los puntos de poder medio) de una forma de onda correlacionada consigo misma en condiciones de Doppler cero
- una resolución Doppler óptima teórica (gobernada por los puntos de potencia media) de una forma de onda resultante generada tomando la transformada de Fourier de la forma de onda de tiempo correlacionada con sí mismo en condiciones de Doppler cero
- una indicación de la tolerancia Doppler de una forma de onda cuando la forma de onda sufre distorsiones Doppler impartidas sobre la misma por dianas que tienen velocidades radiales relativas desconocidas.

Para establecer comparaciones de rendimiento significativas entre las varias formas de onda artificiales descritas en este documento, un parámetro de rendimiento solo puede ser retenido a un valor fijo, mientras que los restantes parámetros de rendimiento se puede permitir que varíen. Los parámetros de rendimiento a los que se les permite variar, se pueden comparar a continuación para cada forma de onda con el fin de identificar los beneficios y/o problemas asociados con una forma de onda seleccionada cuando se compara con la forma de onda de HFM ejemplar 42 de la figura 2.

El parámetro de rendimiento fijo utilizado en el presente documento es un nivel de interferencia del lóbulo lateral temporal permisible máximo respecto del pico máximo asociado de una correlación réplica (es decir, una correlación de una forma de onda con una réplica de sí misma, que puede ser una autocorrelación cuando la réplica y la forma de onda son las mismas). Este parámetro de rendimiento se fija al nivel constante de 28 dB.

La salida de un proceso de correlación de réplicas de forma de onda de HFM que tiene una envoltura plana (no se muestra) da lugar a un nivel de interferencia del lóbulo lateral temporal máximo de 13 dB con respecto al pico de la forma de onda correlacionada. Para establecer el nivel de interferencia de lóbulo lateral temporal máximo en -28 dB con respecto al pico de la forma de onda correlacionada, se requiere una función de ponderación de amplitud temporal, que está representada por la envoltura de amplitud 42a. Una función de ventana gaussiana utilizando un valor alfa de 1,5 da como resultado un nivel de interferencia de lóbulo lateral temporal máximo de -28 dB en relación con el pico de la forma de onda correlacionada.

Con referencia ahora a la figura 2A, un gráfico 50 incluye un eje horizontal en unidades de frecuencia en Hertz y una escala vertical en unidades de decibelios. Una curva 52 es representativa del espectro de potencia de una señal de sonido HFM ejemplar convencional generada por un sistema de sonar convencional de acuerdo con la forma de onda de tiempo 42 de la figura 2. Este espectro de potencia se calcula mediante el cálculo de un único registro de Transformada de Fourier sobre toda la duración de la forma de onda representada en la figura 2. La curva de espectro de potencia 52 ha sido normalizada a 0 dB, de modo que todos los niveles se representan con relación a un nivel máximo de potencia de 0 dB.

Esta curva 52 es representativa de la forma de onda de tiempo anteriormente descrita 42 que tiene un barrido de frecuencia FM hiperbólica, una ventana de amplitud de Gauss, una frecuencia portadora de aproximadamente 3500 Hz, una duración de tiempo de aproximadamente un segundo, y un ancho de banda de aproximadamente mil Hz.

La forma de onda de tiempo de transmisión 42 (chirrido) de la figura 2 tiene propiedades de transmisión favorables asociadas con el hardware de sonar utilizado por muchos sistemas de sonar activos convencionales. El chirrido 42 también tiene muchas características favorables en relación con el procesamiento de la señal del receptor de sonar. A diferencia de una forma de onda de chirrido FM lineal, la forma de onda de chirrido HFM tiene un nivel de potencia que es inversamente proporcional a la frecuencia. Sin embargo, se reconocerá que el ventanaje descrito anteriormente tiende a afectar a la capacidad de ver esta característica de potencia dependiente de la frecuencia en el espectro de potencia 52, cuando se representa mediante una escala de decibelios. El nivel de potencia dependiente de la frecuencia, lo cual es evidente en el espectro de potencia 52, da como resultado tanto de la característica de potencia dependiente de la frecuencia de la forma de onda de HFM, así como la función de ventana anteriormente descrita.

Con referencia ahora a la figura 2B, un gráfico 60 incluye una escala horizontal en unidades de frecuencia y una escala vertical en unidades de tiempo en segundos. El gráfico 60 es un espectrograma representativo de una señal de HFM convencional ejemplar generada por un sistema de sonar convencional de acuerdo con la forma de onda de tiempo 42 de la figura 2 y el espectro de potencia 52 de la figura 2A. Una curva 62 se extiende por un período de tiempo de aproximadamente un segundo. La curva 62 tiene una frecuencia que cambia con respecto al tiempo, llegando a ser superior en frecuencia a medida que pasa el tiempo, y tiene una velocidad de barrido de frecuencia y de una extensión de frecuencia similar a la de las curvas 32a, 32b, 32c de la figura 1B, que fuera genera por una orca.

Una tercera dimensión está representada en el gráfico 60 por una intensidad de la curva 62, donde una porción más oscura de la curva 62 es representativa de una de potencia acústica mayor.

El ruido de fondo se añadió a la forma de onda de tiempo 42 de la figura 2 para asegurar que las características de ruido de fondo similares están presentes al comparar las formas de onda de la orca de la figura 1 a las formas de onda artificiales descritas en este documento. El espectrograma 60 se calcula a partir de una suma del ruido de fondo resultante más señal de forma de onda de HFM. El ruido de fondo que se ha añadido a la forma de onda HFM hecha por el hombre 42 se obtuvo mediante el muestreo de sonidos del océano en las grabaciones de orca, cuando no había transmisiones de orca presentes.

Al igual que el espectrograma 30 de la figura 1B, el espectrograma 60 de la figura 2B se normalizó a tener un nivel de potencia de pico de 0 dB. Un piso de 40 dB fue empleada para limitar el rango dinámico de los niveles espectrograma a 40 dB. Se empleó este rango dinámico de 40 dB para permitir una representación del espectrograma que podría interpretarse visualmente sobre un mapa de color de valor 256.

La curva 62 es indicativa de un componente tonal de banda estrecha que barre en la frecuencia como una función del tiempo en una longitud de pulso de duración finita. Se puede observar que la curva 62, que es representativa de una señal generada por un sistema de sonar HFM convencional, tiene características (por ejemplo, la modulación, la duración del tiempo, el ancho de banda, la frecuencia central, la velocidad de barrido), similares a las curvas 32a-32c de la figura 1B, que son representativos del sonido generado por una orca. La similitud proporciona evidencia que apoya las hipótesis descritas anteriormente de que los buques de guerra que emplean este tipo de señales HFM de chirrido pueden resultar en el varamiento de ciertos mamíferos marinos debido a la percepción por los mamíferos marinos que las orcas están cerca.

La señal de la orca, que está representada por el tiempo en la forma de onda de tiempo 12 de la figura 1, por la curva del espectro de potencia 22 de la figura 1A, y por las curvas de espectrograma 32a-32c de la figura 1B y

también la señal de HFM de sonar convencional, que está representada por la forma de onda de tiempo 42 de la figura 2, por el espectro de potencia 52 de la figura 2A, y por la curva 62 de la figura de espectrograma 2B, reside en la banda de frecuencia media utilizada por los sistemas de sonar convencionales. Tal como se usa en el presente documento, la banda de frecuencia media es de aproximadamente 1 kHz a aproximadamente 5 kHz. Las señales

5 12, 42 en general tienen ambas las mismas longitudes de pulso (duración de estudio) de aproximadamente un segundo. Las señales 12 y 42 contienen contenido de frecuencia que se encuentra dentro de la banda de frecuencias medias como se describió anteriormente. Además, las señales 12 y 42 tienen componentes tonales, que barren ascendente en frecuencia sobre un ancho de banda kHz uno en una tasa similar de alrededor de un kHz por segundo.

10 Aunque la señal de sonido de la orca 12 no es idéntica a la señal de sonido de HFM convencional 42, pueden parecer tan similares que un mamífero marino, que escucha las señal de chirrido hecha por el hombre HFM 42, puede reaccionar con una respuesta de huida, lo que resulta en un varamiento.

15 Incluso una evaluación auditiva humana sencilla de la señal de sonido de HFM convencional 42, cuando se compara con la señal de sonido generada por la orca 12, demuestra que la señal de sonido de la orca producida de forma natural 12 y el chirrido HFM hecho por el hombre 42 suenan similares entre sí. La similitud en la percepción del sonido entre estas dos señales sugiere además que los mamíferos marinos podrían malinterpretar las señales de chirrido HFM hechas por el hombre como siendo sonidos generados por una orca.

20 De la discusión anterior, se entenderá que la forma de onda de tiempo 42 de la figura 2 es generada con una característica de barrido de frecuencia ascendente. Sin embargo, se pueden generar las formas de onda de chirrido de FM usadas en un sistema de sonar activo convencional, ya sea con una característica de barrido de frecuencia ascendente o descendente. La característica de barrido descendente se ha observado que es generado por algunos momentos por algunas ballenas asesinas. No es irrazonable suponer que una onda de barrido descendente

25 provocaría la misma respuesta negativa en algunos mamíferos marinos.

30 Como se describió anteriormente, las formas de onda particulares son utilizadas por los sistemas de sonar activos basados en objetivos o misiones particulares, por ejemplo, detección, localización, seguimiento, o clasificación de una diana. La forma de onda particular seleccionada para un objetivo o misión particular tiene un gran impacto en el rendimiento general del sistema. Las formas de onda utilizadas para generar señales de sonido en un sistema de sonar se caracterizan por una variedad de características que incluyen, pero no se limitan a una modulación, una duración de impulso, una frecuencia central, un ancho de banda, una velocidad de barrido de frecuencia, una función de ventana de amplitud temporal, y una energía de la señal (o nivel de presión sonora de pico).

35 Las formas de onda de chirrido de frecuencia modulada que tienen una variedad de características de la señal (por ejemplo, la modulación, la duración de pulso, la frecuencia central, el tipo y tasa de barrido de frecuencia, el ancho de banda, la ponderación de amplitud) son utilizados por los modernos sistemas de sonar en el problema de detección, localización, seguimiento y clasificación. Debido a que los diferentes parámetros de rendimiento del sistema están relacionados entre sí, las formas de onda se generan en base a consideraciones prácticas. Se debe entender que, dado que los parámetros de rendimiento están relacionados entre sí, la optimización de una forma de onda para un parámetro de rendimiento particular, a menudo tiene efectos no deseados (negativos) sobre otros parámetros de rendimiento, por lo que la selección de una forma de onda es esencialmente un ejercicio de equilibrio.

45 Algunas de las cuestiones que se consideran al seleccionar una forma de onda del sonar incluyen, pero no se limitan a, las siguientes consideraciones:

- 50  ¿Puede el hardware soportar una forma de onda de chirrido continuo, o es más adecuado para la transmisión de corta duración de las bandas de frecuencias discretas?
- ¿Puede el transmisor soportar las formas de onda complejas?
- ¿Hay limitaciones de ancho de banda del transmisor?
- ¿Cuál es la extensión del tiempo de transmisión de onda dictado por el transmisor?
- ¿Cuál es el rango de detección máximo deseado para el sistema?
- 55  ¿Qué nivel de ganancia se desea del procesamiento del filtro adaptado?
- ¿Cuál es la resolución de alcance deseada?
- ¿Cuál es la resolución Doppler deseada (o velocidad relativa)?
- ¿Cuáles son los efectos del medio que el diseñador/operador desea mitigar (es decir, la distorsión de la forma de onda debida a un medio dispersivo)?
- ¿Al operador le importan más los niveles de los lóbulos laterales en Doppler o en el rango?
- 60  ¿Desea el operador mitigar la degradación del proceso de compresión de impulsos debido a las distorsiones Doppler?

65 Como se describió anteriormente, la evaluación de la capacidad de una señal de sonido para detectar una diana y para identificar a una distancia a una diana se puede realizar utilizando funciones de autocorrelación y de ambigüedad asociada. La autocorrelación incluye la correlación de una forma de onda con una copia idéntica de sí misma (es decir, una réplica). La autocorrelación es la correlación de la forma de onda con sí misma y es una

- función más restrictiva que una correlación cruzada general. La función de autocorrelación ejecutada por una forma de onda proporciona una ganancia teórica óptima proporcionada por un filtro adaptado (es decir, la forma de onda de compresión) para la forma de onda en la presencia de ruido no correlacionado. Una comparación de una proporción calculada de energía de la señal con la energía de ruido antes de la correlación de procesamiento frente
- 5 siguiendo el procesamiento de correlación proporciona la ganancia asociada con la compresión de la forma de onda (que está relacionada con el producto ancho de banda-tiempo). Un retardo de tiempo asociado con una ubicación de un pico de una señal de salida generada por el procesamiento de correlación proporciona un retardo de tiempo calculado para la señal de sonido recibida, que corresponde a una distancia a la diana.
- 10 El uso de la función de autocorrelación proporciona una medida del rendimiento de filtro adaptado y demuestra una precisión de determinación de rango teórica correspondiente (localización) que se puede obtener con una señal de sonido transmitida que cualquier característica de la señal, por ejemplo, la modulación, la duración de tiempo, la frecuencia central, el ancho de banda, y la energía de la señal.
- 15 Una función de auto-ambigüedad (o, más sencillamente, una función de ambigüedad) permite que la realización de filtro adaptado sea estudiada en dos dimensiones (retardo de tiempo y desplazamiento de frecuencia Doppler resultantes del movimiento relativo entre el sistema de sonar activo y la diana). La función de ambigüedad puede proporcionar una evaluación de la capacidad de la señal de sonido transmitida que tiene características de la señal particulares para resolver un rango de una diana como una función de la velocidad radial relativa de la diana (es
- 20 decir, frecuencia Doppler). Un diagrama de ambigüedad en la dimensión de frecuencia/Doppler demuestra la capacidad de una forma de onda para identificar la velocidad relativa de una diana. Con este fin, una función de ambigüedad utiliza como referencia una forma de onda almacenada asociada con una señal de sonido transmitida. Esta forma de onda almacenada es la respuesta al impulso del filtro adaptado. La respuesta al impulso del filtro adaptado se convoluciona con varias versiones del tiempo de demora y distorsionadas del tiempo de la señal de
- 25 referencia para producir formas de onda de salida correlacionados en cada condición de velocidad relativa.
- La detección de dianas en movimiento a velocidades radiales desconocidas en relación con el sonar es difícil como resultado de la distorsión (por ejemplo, desplazamiento Doppler) de la forma de onda recibida. La forma de onda recibida se distorsiona como resultado de un movimiento relativo entre el sonar y la diana. El movimiento relativo de
- 30 la diana imparte o bien un efecto de compresión o un efecto de alargamiento en la forma de onda recibida con respecto a lo que fue transmitido. Ya sea el efecto de alargamiento o compresión está relacionado con el objetivo de dirección con respecto al sistema de sonar. La distorsión de forma de onda resulta en una degradación del rendimiento de filtro adaptado, ya que la forma de onda recibida ya no es una adaptación ideal con lo que fue transmitido (haciendo caso omiso de todos los demás efectos). Este rendimiento del filtro adaptado degradado
- 35 significa que el proceso de correlación proporciona menos que la ganancia de procesamiento de señales diseñado, que tiene un efecto directo sobre la capacidad del sistema para detectar una señal en presencia de ruido.
- Algunos sistemas de sonar activos convencionales miden y usan la velocidad de un buque propio en el procesamiento de anulación Doppler en un intento para tener en cuenta el desplazamiento Doppler esperado en una
- 40 señal de sonido que se hace eco desde una diana con una velocidad radial relativa. Sin embargo, la mayoría de las veces la velocidad radial relativa real de la diana es (inicialmente) desconocida cuando tanto la diana y el barco se están moviendo a diferencia de la situación de un barco en movimiento y una diana estacionaria. La función de ambigüedad proporciona un medio mediante el cual calcular un diagrama de ambigüedad. El diagrama de la ambigüedad proporciona un medio por el que un diseñador de la forma de onda puede evaluar varios parámetros de
- 45 rendimiento, al mismo tiempo, tanto en dimensiones de rango (tiempo) y Doppler (frecuencia). Como el diseñador realiza cambios en las características de forma de onda, lo que resulta en que los efectos de rendimiento en el rendimiento esperado del sistema (en la etapa de filtrado adaptado) pueden ser examinados en ambas dimensiones. De esta manera, puede ser diseñada una forma de onda que cumpla con los requisitos de rendimiento en una dimensión con una pérdida de rendimiento aceptable en la otra dimensión.
- 50 Muchos sistemas de sonar activos intentan minimizar la degradación del rendimiento asociada con el procesamiento de correlación que puede resultar a partir de una diana que tiene una velocidad radial relativa desconocida. Un método que puede ser utilizado para reducir al mínimo la degradación del rendimiento es elegir una señal transmitida que tiene características que tienden a proporcionar un grado relativamente bajo de degradación del
- 55 rendimiento (en relación con el procesamiento de correlación) en la presencia de señales de sonido recibidas distorsionadas Doppler. Dicha señal transmitida se conoce comúnmente como una "forma de onda tolerante Doppler". La forma de onda de HFM descrita anteriormente es una de dichas formas de onda tolerante Doppler.
- Otro método que se puede utilizar para minimizar la degradación del rendimiento (asociado con el procesamiento de
- 60 filtro adaptado) es utilizar una pluralidad de réplicas de desplazamiento Doppler de la forma de onda almacenada asociada con la señal de sonido transmitida en una correspondiente pluralidad de filtros adaptados paralelos, (por ejemplo, una pluralidad de correlaciones transversales paralelas), por lo tanto, cada uno de los cuales está sintonizado a un desplazamiento Doppler específico (es decir, la velocidad radial relativa de la diana). En este caso una forma de onda Doppler tolerante no es una necesidad. La señal de sonido recibida es procesada en paralelo
- 65 con cada una de la pluralidad de réplicas de la señal de sonido transmitida. Al seleccionar la réplica que resulta en la mejor salida de correlación, el objetivo puede ser detectado por un pico en la salida correlacionada, una distancia al

blanco se puede identificar por un retardo de tiempo del pico, y también una velocidad relativa puede ser identificada como resultado de la determinación de una frecuencia asociada con la réplica que produjo la mejor salida de correlador. Sin embargo, se entenderá que el uso de los canales de procesamiento en paralelo requiere un aumento sustancial en la carga de procesamiento del receptor.

5 Por último, otra técnica utilizada que se puede utilizar para minimizar la degradación del rendimiento (asociada con el procesamiento de filtro adaptado) es utilizar un conjunto de múltiples tipos de forma de onda en una secuencia de transmisión. Cada tipo de forma de onda se construye para optimizar su capacidad de proporcionar una pieza distinta de la información. Por ejemplo, una secuencia de transmisión podría utilizar cuatro transmisiones de FM seguidas de una sola frecuencia de transmisión de forma de onda tonal. Las formas de onda de banda ancha (FM) se construyen con un producto de ancho de banda de tiempo grande como para dar lugar a una compresión óptima de la forma de onda y por lo tanto optimizar la salida del correlador y el proceso de detección en la dimensión de tiempo/rango. La frecuencia tonal única puede tener características que optimizan el proceso de detección en la dimensión Doppler, reduciendo al mínimo el contenido de frecuencia y optimizando así la capacidad de determinar el desplazamiento Doppler (es decir, la velocidad radial relativa) de la diana. Un mecanismo de retroalimentación permite que la información obtenida de las transmisiones Doppler proporcionar información de vuelta al procesamiento de anulación Doppler para optimizar la salida de correlación (es decir, el procesamiento de detección) mediante el ajuste de la forma de onda de réplica en consecuencia. En este caso, se entenderá que el uso de las múltiples formas de onda requiere un aumento en el procesamiento de receptor, un aumento en el diseño de transmisión del sistema, y que para cada ciclo de transmisión/recepción Doppler un ciclo de transmisión/recepción de rango/marcación de información se sacrifica.

25 Dos formas de onda comunes empleadas por los sistemas activos para las evaluaciones de rango/marcación son formas de onda de FM lineales y formas de onda de FM hiperbólicas. Cada señal tiene sus ventajas e inconvenientes, que son conocidos por los expertos normales en la técnica.

30 La publicación Ning Xiang; Chu, D., "Fast m-sequence transform for quasi-backscatter sonar in fisheries and zooplankton survey applications," Signal Processing, 2004. Proceedings. ICSP'04. 2004 7th International Conference, vol.3, no., pp.2433, 2436 vol. 3, 31 agosto a 4 septiembre de 2004 se refiere a la aplicación de Secuencias de máxima longitud binarias (MLS) como señales de modulación para sistemas de sonar con el fin de estudiar la dinámica de los ecosistemas marinos de forma no invasiva.

### Sumario de la invención

35 De acuerdo con la presente invención, un sistema de sonar incluye un generador de forma de onda de baja probabilidad de impacto en mamíferos marinos adaptado para generar una forma de onda de baja probabilidad de impacto en mamíferos marinos (LPMMI) que tiene un componente de modulación, un componente de duración de tiempo, un componente de ancho de banda, y un componente de frecuencia central. El sistema de sonar también incluye un transmisor sonar acoplado al generador de forma de onda y adaptado para transmitir una señal de sonido en el agua de acuerdo con la forma de onda de baja probabilidad de impacto en mamíferos marinos. El componente de modulación de la forma de onda LPMMI se selecciona para reducir una respuesta de comportamiento de un mamífero marino de la que se produciría cuando se transmite otra señal de sonido de acuerdo con otra forma de onda que tiene aproximadamente el mismo componente de duración de tiempo, aproximadamente el mismo componente de ancho de banda, y aproximadamente el mismo componente de frecuencia central que la forma de onda LPMMI pero que tiene un componente de modulación que comprende una modulación de frecuencia. En algunas realizaciones del sistema de sonar, la forma de onda LPMMI comprende una forma de onda de baja probabilidad de interceptación (LPI) que tiene un espectro ensanchado.

50 De acuerdo con otro aspecto de la presente invención, un método de detección de dianas utilizado en un sistema de sonar incluye generar una forma de onda de baja probabilidad de impacto en mamíferos marinos (LPMMI) que tiene un componente de modulación, un componente de duración de tiempo, un componente de ancho de banda, y un componente de frecuencia central. El método también incluye la transmisión de una señal de sonido en el agua de acuerdo con la forma de onda de baja probabilidad de impacto de mamíferos marinos. El componente de modulación de la forma de onda LPMMI se selecciona para reducir una respuesta de comportamiento de un mamífero marino de la que se produciría cuando se transmite otra señal de sonido de acuerdo con otra forma de onda que tiene aproximadamente el mismo componente de duración de tiempo, aproximadamente el mismo componente de ancho de banda, y aproximadamente el mismo componente de frecuencia central que la forma de onda LPMMI pero que tiene un componente de modulación que comprende una modulación de frecuencia. En algunas realizaciones del método, la forma de onda LPMMI comprende una baja probabilidad de interceptación (LPI) que tiene una forma de onda de espectro ensanchado.

### Breve descripción de los dibujos

65 Las características anteriores de la invención, así como la propia invención se pueden entender más completamente a partir de la siguiente descripción detallada de los dibujos, en los cuales:



La figura 1 es un gráfico que muestra un ejemplo de una forma de onda de tiempo de una señal de sonido generada por una orca;

La figura 1A es un gráfico que muestra un espectro de potencia calculado a lo largo de la duración de la señal de sonido de la figura 1 generada por una orca;

5 La figura 1B es un gráfico que muestra un espectrograma calculado a lo largo de la duración de la señal de sonido de la figura 1 generada por una orca;

La figura 2 es un gráfico que muestra una forma de onda ejemplar de la frecuencia modulada hiperbólica (HFM) representada gráficamente como una función del tiempo, que no es sino un ejemplo de una forma de onda que puede ser generada por un sistema de sonar convencional;

10 La figura 2A es una gráfica que muestra un espectro de potencia calculado a lo largo de toda la duración de la forma de onda de la frecuencia modulada hiperbólica (HFM) de la figura 2.

La figura 2B es un gráfico que muestra un espectrograma calculado a lo largo de toda la duración de la forma de onda de la frecuencia modulada hiperbólica (HFM) de la figura 2.

La figura 3 es un gráfico que muestra una parte de un código de estado binario pseudoaleatorio;

15 La figura 3A es un gráfico que muestra una forma de onda de tiempo que tiene una modulación por desplazamiento de fase (PSK) de una única frecuencia de acuerdo con el código pseudoaleatorio de la figura 3;

La figura 3B es un gráfico que muestra un espectro de potencia calculado a lo largo de la duración de la forma de onda de tiempo modulada PSK de la figura 3A;

20 La figura 3C es un gráfico que muestra un espectrograma calculado a lo largo de la duración de la forma de onda modulada de tiempo PSK de la figura 3A;

La figura 4 es un gráfico que muestra una parte de un código de estado binario pseudoaleatorio generado por un algoritmo genético;

25 La figura 4A es un gráfico que muestra una forma de onda de tiempo de frecuencia única que tiene una modulación por desplazamiento de fase (PSK) de acuerdo con el código de algoritmo genético de la figura 4, formando una señal codificada de fase de algoritmo genético;

La figura 4B es un gráfico que muestra un espectro de potencia calculado a lo largo de la duración de la forma de onda de tiempo modulada PSK de la figura 4A;

La figura 4C es un gráfico que muestra un espectrograma calculado a lo largo de la duración de la forma de onda de tiempo modulada PSK de la figura 4A;

30 La figura 5 es un diagrama de bloques de un sistema de sonar que tiene un generador de forma de onda de baja probabilidad de impacto marino (LPMMI); y

La figura 6 es un diagrama de flujo de un método de uso de una forma de onda LPMMI en un sistema de sonar.

### Descripción detallada de la invención

35 Tal como se utiliza aquí, el término "señal de sonido" se utiliza para describir una señal de presión que puede propagarse en el agua. Tal como se utiliza aquí, el término "forma de onda" se utiliza para describir una señal que puede existir en una variedad de medios. Por ejemplo, una forma de onda puede ser una señal de voltaje en un circuito electrónico. Para otro ejemplo, una forma de onda puede ser una señal de sonido. La forma de onda y la

40 señal de sonido pueden tener cada una características de la señal, que incluyen, pero no se limitan a, una duración de tiempo (por ejemplo, tiempo de duración de un pulso), un ancho de banda, una frecuencia central, una magnitud o intensidad, una modulación, y una velocidad de barrido de frecuencia. Será evidente que una forma de onda electrónica en un circuito electrónico que tiene particulares características de la señal se puede utilizar para generar una señal de sonido asociada que tiene las mismas o similares características de la señal. Por lo tanto, cuando se

45 habla de formas de onda en el presente documento, se apreciará que las mismas o similares características se aplican a una señal electrónica representada por la forma de onda y a la señal de sonido representada por la forma de onda.

50 La presente invención se refiere a formas de onda utilizadas en un sistema de sonar activo que proporcionan detección, localización, seguimiento y/o capacidades de clasificación de la diana similares a las del sistema de sonar convencional anteriormente descrito utilizando formas de onda de FM (tanto lineales como hiperbólicas) y las señales de sonido asociadas, mientras que, al mismo tiempo tiene características de la señal para evitar o reducir el daño a los mamíferos marinos. Estas formas de onda y señales de sonido asociadas se denominan aquí como formas de onda de "baja probabilidad de impacto en los mamíferos marinos" (LPMMI) y señales de sonido

55 asociadas.

Tal como se utiliza aquí, el término forma de onda de "baja probabilidad de interceptación" (LPI) y la señal de sonido asociada se utiliza para describir una familia de formas de onda y señales de sonido asociadas que generalmente son difíciles de detectar por un observador externo que no tenga conocimiento de las características específicas de

60 la señales LPI. Una llamada señal de espectro ensanchado es un tipo de señal LPI. La señal de espectro ensanchado tiene características similares al ruido a lo largo de un ancho de banda relativamente amplio. Como se pondrá de manifiesto a partir de la discusión a continuación, cuando una señal de sonido LPI tiene ciertas características, también puede ser una señal de sonido LPMMI.

65 Mientras que algunos tipos particulares de formas de onda de baja probabilidad de interceptación (LPI) se describen a continuación que proporcionan una baja probabilidad de impacto en mamíferos marinos, otros tipos de formas de

onda LPI también se pueden utilizar para proporcionar una baja probabilidad de impacto en mamíferos marinos. Además, si bien se describen a continuación ejemplos particulares de formas de onda que tienen frecuencias portadoras, anchos de banda, duraciones de tiempo, modulaciones y/o las tasas de barrido de frecuencia particulares, se debe apreciar que las formas de onda que tienen otras frecuencias portadoras, anchos de banda, duraciones de tiempo, modulaciones, tasas de barrido, y/u otras características que también se pueden usar para proporcionar formas de onda LPMMI.

Como es sabido, una denominada secuencia M es una secuencia de estado binario que tiene características pseudoaleatorias. Una secuencia M puede ser generada por una arquitectura de registro de desplazamiento llamado un generador de secuencia pseudoaleatoria binaria lineal de período máximo, o, más sencillamente, un generador de secuencia pseudoaleatoria. La arquitectura de registro de desplazamiento contiene células binarias M, cada una de las cuales tiene un estado, que es un 0 o 1. En funcionamiento, la suma de vectores binarios se utiliza para determinar una secuencia de número binario resultante. Un generador de secuencia pseudoaleatoria periódicamente forma un ciclo a través de un conjunto de  $L = 2^n - 1$  estados.

Se entenderá que, en una disposición alternativa para el generador de secuencia pseudoaleatoria, la secuencia M puede también ser generada a partir de valores digitales pseudoaleatorios, que se almacenan en una memoria de estado sólido o similar, y que se recuerdan en secuencia.

La secuencia M se puede utilizar para generar una forma de onda de modulación por desplazamiento de fase (PSK) y la señal de sonido asociada (también denominada en este documento como una señal codificada de fase), por ejemplo, una señal de sonido para la que la fase es un primer valor de fase cuando la secuencia M tiene un estado cero, y un segundo valor de fase cuando la secuencia M tiene un solo estado. En algunas disposiciones, el primer y segundo valores de fase difieren en ciento ochenta grados.

Una señal codificada de fase de secuencia M puede ser descrita por la siguiente ecuación:

$$x(t) = A(t) \cos(2\pi f_e t + m(t)\Theta_0), \text{ donde}$$

$A(t)$  = Función de ventana

$f_e$  = Frecuencia de la portadora (Hz)                      Ecuación (2)

$m(t)$  = Código pseudoaleatorio de  $\pm 1$ 's

$\Theta_0$  = desplazamiento de fase

Aunque se describen sistemas y métodos en el presente documento que pueden emplear una forma de onda LPMMI, en algunas realizaciones, los sistemas y los métodos pueden emplear una serie (es decir, una pluralidad) de formas de onda LPMMI, que puede ser de diferentes formas de onda LPMMI, usando técnicas que serán evidentes. Los elementos de la serie de formas de onda LPMMI pueden tener diferentes componentes de modulación, diferentes componentes de duración de tiempo, diferentes componentes de ancho de banda, y/o diferentes componentes de frecuencia central. La serie también puede incluir formas de onda convencionales, no LPMMI.

Con referencia ahora a la figura 3, un gráfico 70 tiene una escala horizontal en unidades de tiempo en segundos y una escala vertical en unidades de fase en grados. Una curva 72 representa al menos una parte de un código digital pseudoaleatorio que tiene dos estados, un estado alto y uno bajo, aquí indicativos de dos fases de señal, por ejemplo, +90 grados y -90 grados, que se describen más adelante en conjunción con la figura 3A. La curva 72, puede mostrar en cambio una parte de un código pseudoaleatorio largo. Como se describió anteriormente, en algunas realizaciones, la longitud del código se puede determinar por una serie de registros de desplazamiento en un registro de desplazamiento generador de código pseudoaleatorio. En otras realizaciones, la longitud del código se determina por un recuento de un número de bits almacenados en la memoria como un código pseudoaleatorio.

Con referencia ahora a la figura 3A, un gráfico 80 tiene una escala horizontal en unidades de tiempo en segundos y una escala vertical en unidades de amplitud en unidades normalizadas. Una curva 82 representa una forma de onda senoide de modulación por desplazamiento de fase (PSK) que cambia de fase entre +90 grados y -90 grados, de acuerdo con los estados del código pseudoaleatorio 72 de la figura 3. La curva 82 puede ser indicativa de sólo una parte sólo de una forma de onda PSK que sigue a un código pseudoaleatorio largo que la curva 72 de la figura 3. La curva 82 es representativa de una forma de onda y la señal de sonido asociada que puede ser transmitida en el agua.

En una realización particular, una forma de onda codificada de fase de secuencia M (por ejemplo, 82) tiene una portadora (centro) de frecuencia de aproximadamente 3500 Hz, un ancho de banda de aproximadamente 1000 Hz, y una duración de tiempo de aproximadamente 0,9809 segundos. Estas características de la señal resultan en una señal de sonido que tiene una frecuencia central, un ancho de banda, y una duración de pulso similar a las de las

señales de sonido naturales producidas por la orca que se han descrito anteriormente en conjunción con las figuras 1-1B. Estas características de la señal también dan lugar a una señal de sonido que tiene un producto ancho de banda-tiempo similar a la de la forma de onda HFM convencional 42 discutida anteriormente en relación con las figuras 2-2B.

5 Otras secuencias M, o combinaciones de secuencias M, se pueden utilizar para generar formas de onda de espectro ensanchado alternativas que tienen diferentes duraciones, anchos de banda y frecuencias centrales. Un rango útil de anchos de banda de la señal es de aproximadamente 2500 a 6000. Un rango útil de anchos de banda de forma de onda es de aproximadamente 500 a 2500 Hz. Un rango útil de duraciones de tiempo es de 10 ms a 1,5 seg.

10 Se puede demostrar que la fase de la forma de onda codificada 82 logra la compresión de forma de onda óptima cuando se deja sin ventanas (es decir, no se aplica ninguna de ventanas de amplitud temporal). Por lo tanto la forma de onda codificada de fase de secuencia M 82 se puede dejar sin ventanas (es decir, que tiene una envoltura de vagón de carga). Con esta disposición, el máximo nivel de interferencia de lóbulo lateral obtenido dentro de la función de autocorrelación es -29 dB.

15 Las señales de secuencia M de fases codificadas obtienen un rendimiento óptimo cuando son sin ventanas (es decir, cuando tienen una ventana de amplitud plana). Un nivel de interferencia del lóbulo lateral temporal resultante obtenido sometiendo la forma de onda del espectro ensanchado codificada de la fase de secuencia M para la réplica de correlación es el que se utiliza como un parámetro de rendimiento fijo para el nivel de interferencia del lóbulo lateral temporal para todas las formas de onda artificiales descritas en este documento.

20 Una forma de onda resultante (no representada) generada mediante la realización de una función de autocorrelación de la forma de onda 82 resulta en un pico de correlación que tiene un medio puntos de potencia sobre el pico que están separados por 0,749 ms, que se traduce en una resolución de alcance de 0,562 ms utilizando una velocidad del sonido de 1500 m/seg.

25 La forma de onda de HFM ejemplar 42 de la figura 2, que tiene un producto ancho de banda-tiempo idéntica y, esencialmente, el mismo nivel de interferencia de lóbulo lateral temporal (en su autocorrelación) también se evaluó. 30 Una curva resultante (no representada) generada mediante la realización de una función de autocorrelación de la forma de onda 42 resulta en un pico de correlación que tiene medios puntos de potencia sobre el pico que están separados por 1,237 segundos. Esto se traduce en 0,928 metros usando una velocidad de sonido de 1500 m/seg. Por lo tanto, la forma de onda 82 proporciona una resolución de rango teórica (tal como se define mediante los puntos de potencia media o puntos de -3dB) de 0,562 metros en comparación con los 0,928 metros descritos 35 anteriormente para la forma de onda enventanada convencional de HFM 42 de la figura 2.

40 Con referencia ahora a la figura 3B, un gráfico 90 incluye un eje horizontal en unidades de frecuencia en Hz y una escala vertical en unidades de decibelios. Una curva 92 es un espectro de potencia de una señal de sonido que puede ser generada por un sistema de sonar, de conformidad con la señal de sonido PSK 82 de la figura 3A. La curva de espectro de potencia 92 ha sido normalizada a 0 dB, de modo que todos los niveles se representan con relación a un nivel máximo de potencia de 0 dB.

45 Esta curva 92 es representativa de la forma de onda de tiempo PSK antes descrita 82 que tienen desplazamientos de fase pseudoaleatorios, una frecuencia portadora de aproximadamente 3500 Hz, una duración de tiempo de aproximadamente un segundo, y un ancho de banda de aproximadamente mil Hz.

50 La curva 92 tiene un lóbulo principal 92a, y una pluralidad de lóbulos laterales, de los cuales el lóbulo lateral 92b es sólo un ejemplo. Un experto en la técnica entenderá que la estructura con lóbulos de la curva 92 es el resultado de la forma de onda de código pseudoaleatorio 82 de la figura 3A. Se entenderá que una anchura 94 del lóbulo principal 92a está asociada con una tasa de bits del código pseudoaleatorio 72 de la figura 3. Por lo tanto, el lóbulo principal 92a puede tener una anchura 94 seleccionada de conformidad con un producto de tiempo-ancho de banda deseado. Un experto en la técnica entenderá que un producto ancho de banda-tiempo está relacionado con un rendimiento de 55 detección de un sistema de sonar. Aquí, el producto ancho de banda-tiempo es de aproximadamente 1000 para una segunda duración de un pulso.

60 La forma de onda de tiempo PSK 80 de la figura 3 se conoce como una forma de onda de espectro ensanchado basada en la característica de que el espectro de banda ancha resultante 92 se consigue mediante el ensanchado de un componente espectral de banda estrecha (que es una sola frecuencia tonal que tiene dos fases en la frecuencia portadora deseada) sobre el espectro 80 a través de medios de modulación de fase.

65 Con referencia ahora a la figura 3C un gráfico 100 incluye una escala horizontal en unidades de frecuencia y una escala vertical en unidades de tiempo en segundos. El gráfico 100 es un representante espectrograma de la señal acústica que puede ser generada por un sistema de sonar, de acuerdo con la forma de onda PSK 82 de la figura 3A. Las características del espectrograma 102 del espectrograma 100 se extiende por un período de tiempo de aproximadamente un segundo y corresponde a la forma de onda de tiempo 82 de la figura 3A y para el espectro de potencia 92 de la figura 3B.

Las características 102 incluyen una característica dominante 102a, que corresponde al lóbulo principal 92a de la curva del espectro de potencia 92 de la figura 3B, así como características de menor importancia, de las cuales la característica menor 102b es sólo un ejemplo. La característica menor 102b corresponde con el lóbulo lateral 92b de la figura 3B.

5 La característica dominante 102a tiene un período de frecuencia de aproximadamente 1 kHz de acuerdo con el lóbulo principal 92a de la figura 3B, similar a la de las curvas 32a, 32b, 32c de la figura 2B, que fueron generadas por una orca, y similar a la curva 62 de la figura 2B, que es representativa del sonido generado por un sistema de sonar HFM convencional. El ruido de fondo se añadió a la forma de onda de tiempo 82 (una parte de la que se representa en la figura 3A) para asegurar que las características de fondo similares están presentes cuando se comparan las formas de onda de la orca con las formas de onda hechas por el hombre. El espectrograma 100 se calcula a partir de la suma resultante del ruido de fondo además de la forma de onda PSK 82 (figura 3A). El ruido de fondo que se ha añadido a la forma de onda PSK hecha por el hombre se obtuvo tomando muestras de sonidos del océano en las grabaciones de la orca, cuando las transmisiones de la orca no estaban presentes.

15 A diferencia ya sea la señal de sonido natural 12 (figura 1) producida por la orca o la señal de chirrido FM hecha por el hombre 42 (figura 2) descrita anteriormente, el espectrograma 100 de la señal de sonido PSK pseudoaleatoria 82 más el ruido no tiene un componente tonal de banda estrecha que contiene toda la energía de forma de onda en un momento dado que barre en frecuencia como una función del tiempo. En su lugar la señal de sonido PSK 82 tiene un espectro de frecuencia ancha relativamente estacionario. En el caso de la señal de sonido 82, se puede observar que la energía de forma de onda se propaga a través del espectro para toda la duración de la transmisión de manera que la energía en cualquier frecuencia en un momento dado es mucho menor que la energía de forma de onda en cualquier frecuencia en un momento dado que está asociada con las formas de onda barridas de banda estrecha, (por ejemplo, 42, la figura 2).

25 El espectrograma 100 para la forma de onda codificada de fase de secuencia M es significativamente diferente del espectrograma 30 (figura 1B) de la señal de sonido natural de la orca y del espectrograma 60 (figura 2B) de la señal de sonido de HFM a pesar de todas las formas de onda de tiempo asociadas y las señales de sonido asociadas tienen anchos de banda, frecuencias centrales y duraciones de tiempo similares.

30 Para un observador humano, una señal de sonido de espectro ensanchado generada de acuerdo con el espectrograma 100 de la figura 3A suena sustancialmente diferente de un sonido generado por una orca, que está representado por el espectrograma 30 de la figura 1B, o sonido generado por un sistema de sonar HFM, que está representado por el espectrograma 60 de la figura 2B. En términos generales, para el observador humano, la señal de sonido de espectro ensanchado suena como un breve silbido, mientras que las otras señales de sonido como un chirrido de aves. Los mamíferos marinos, por lo tanto, no perciben que la señal de sonido de espectro ensanchado sea generada por una orca.

40 Una forma de onda de espectro ensanchado igual o similar a la fase de forma de onda codificada de secuencia M 82 de la figura 3A se puede utilizar para generar una señal de sonido en un sistema de sonar activo. La señal de sonido resultante puede tener características iguales o similares a la señal de sonido HFM convencional anteriormente descrita 42 de la figura 2, por ejemplo, la misma duración de tiempo (aproximadamente un segundo), frecuencia central (aproximadamente 3500 Hz), ancho de banda (aproximadamente 1 kHz), y nivel de fuente (aproximadamente 220 dB re 1  $\mu$ Pa a 1 metro).

45 Una variedad de factores son indicativos de un rendimiento teórico de cualquier sistema de sonar. Los factores asociados con el procesamiento de señales que ayudan a determinar el rendimiento de la porción de procesamiento de detección del sistema de sonar incluyen, pero no se limitan a, un producto tiempo-anchura de banda de una señal de sonido transmitida, un pico a nivel del lóbulo lateral de una réplica de correlación de la señal de sonido, una frecuencia central, un ancho de banda, y un tiempo de duración de la señal de sonido.

50 El rendimiento real de un sistema de sonar en condiciones de océano reales está influenciado además por una variedad de factores adicionales asociados con el hardware del sistema, otras etapas del procesamiento de la señal, así como los factores ambientales. Algunos factores ambientales adicionales incluyen, pero no se limitan a, una degradación en el rendimiento en la presencia de reverberación, la presencia de ecos recibidos de múltiples rutas, y la presencia de una velocidad relativa entre el sistema de sonar y una diana. El efecto de una velocidad relativa se discute anteriormente en relación con la figura 2. Los factores ambientales adicionales pueden incluir también un efecto de absorción de sonido en el agua como una función de la frecuencia. Un ejemplo de un factor de hardware adicional puede incluir una exactitud con la que un amplificador y transductor de sonido (dentro de una porción de transmisión) es capaz de transmitir una señal de sonido, que representa con precisión una forma de onda deseada. Por ejemplo, se sabe que un transductor de sonido tiene características mecánicas, que imparten un filtro de ancho de banda en una generada. Por lo tanto, una señal de sonido transmitido tendrá la distorsión resultante de las características mecánicas.

65 Un sistema de sonar que utiliza señales de sonido de espectro ensanchado PSK puede tener teóricamente sustancialmente las mismas capacidades de detección, localización, seguimiento y clasificación que el mismo

sistema que emplea el uso de formas de onda de HFM convencionales. Sin embargo, la señal de sonido de espectro ensanchado PSK no debe hacer que los mamíferos marinos se varen por sí mismos. Por lo tanto, la señal de sonido de espectro ensanchado PSK es una señal de sonido LPMML útil.

5 Con referencia ahora a la figura 4, un gráfico 110 tiene una escala horizontal en unidades de tiempo en segundos y una escala vertical en unidades de fase en grados. Una curva 112 representa al menos una parte de un código digital ejemplar generado de acuerdo con un algoritmo genético y que tiene dos estados, un estado alto y uno bajo, aquí indicativos de dos fases de señal, +90 grados y -90 grados, que se describen adicionalmente a continuación en relación con la figura 4A. La curva 112 puede mostrar, sin embargo, una parte de un código digital de tiempo más largo. En algunas realizaciones, la longitud del código se puede determinar por un generador de código electrónico. En otras realizaciones, la longitud del código se determina por un recuento de un número de bits almacenados en una memoria como un código genético.

15 Los algoritmos genéticos son métodos de optimización estocásticos que imitan el comportamiento de la evolución biológica natural. Los algoritmos genéticos utilizan el principio de la supervivencia del más apto (código) para determinar una población de posibles soluciones (códigos) con el fin de generar una solución optimizada (código). La selección de los individuos en función de su nivel de condición física y la reproducción de ellos juntos (la combinación de ellos) crea un nuevo conjunto de aproximaciones en cada generación. La evolución de este proceso conduce a poblaciones de individuos (código) que están más adaptados a su entorno (más optimizado) que los individuos a partir de los que fueron creados.

25 El algoritmo genético puede ser dirigido a la optimización o mejora de una variedad de características. En el caso de un sistema de sonar y optimizar el rendimiento del detector del mismo, el algoritmo genético se puede utilizar para generar el código genético ejemplar 112. En algunas realizaciones, un código generado del algoritmo genético puede optimizar un pico a nivel del lóbulo lateral de una salida de una función de autocorrelación. Sin embargo, en algunas realizaciones, el algoritmo genético puede optimizar o mejorar otras características, incluyendo pero no limitado a, una anchura de un pico de una salida de la función de autocorrelación, una probabilidad de detección de un sistema de sonar, una tasa de falsas alarmas de un sistema de sonar, una precisión de localización de un sistema de sonar, una precisión de seguimiento de un sistema de sonar, una precisión de clasificación de un sistema de sonar, o una potencia de salida acústica de un sistema de sonar en los modos de operación de detección, localización, seguimiento, o clasificación.

35 El algoritmo genético se puede utilizar para derivar las muestras óptimas dado un conjunto de condiciones de entrada y un parámetro de rendimiento deseado por el cual juzgar las muestras producidas por el algoritmo. Los algoritmos genéticos son muy útiles en un amplio intervalo de problemas. El algoritmo genético se utiliza en los ejemplos en el presente documento para generar códigos de fase de estado binario (por ejemplo, que contiene una secuencia de número de  $\pm 1$ 's), que puede ser utilizado para reemplazar el código de fase generada de secuencia de M descrito anteriormente en relación con la figura 3. Llegará a ser evidente a partir de la discusión a continuación, que las formas de onda PSK que utilizan el código generado del algoritmo genético demuestran el mismo rendimiento deseado. Mientras que los algoritmos genéticos se describen en el presente documento a códigos binarios generados, en algunos arreglos alternativos, los algoritmos genéticos se utilizan para generar códigos de fase óptima (que se utilizan para generar formas de onda de espectro ensanchado), donde los códigos de fase contienen tres o más estados (por ejemplo, resultando en tres o más fases en una forma de onda PSK).

45 Con referencia ahora a la figura 4A, un gráfico 120 tiene una escala horizontal en unidades de tiempo en segundos y una escala vertical en unidades de amplitud en unidades normalizadas. Una curva 122 representa una forma de onda sinusoidal modular por desplazamiento de fase (PSK) que cambia de fase entre +90 grados y -90 grados de acuerdo con los estados del código digital 112 de la figura 4. La curva 122 puede ser indicativa de sólo una parte de una forma de onda PSK más larga que sigue a un código genético más largo que la curva 112 de la figura 4. La curva 122 es representativa de una señal de sonido que puede ser transmitida en el agua. La curva 122 no tiene ponderación de amplitud, tal como se utilizó en la generación de la forma de onda de HFM 42 descrita anteriormente en relación con la figura 2.

55 En una realización particular, la forma de onda de espectro ensanchado que emplea el código de fase derivado por el algoritmo genético (por ejemplo, 112) (también denominado en este documento como una señal codificada de la fase de algoritmo genético) tiene una frecuencia (central) portadora de aproximadamente 3500 Hz, una anchura de banda de aproximadamente 1000 Hz, y una duración de tiempo de aproximadamente 0,9809 segundos. Estas características de la señal resultan en una señal que tiene una frecuencia central, un ancho de banda, y una duración de pulso similar a las de las señales de sonido naturales producidas por la orca que se presentaron anteriormente en relación con las figuras 1-1B. Estas características de la señal también dan lugar a una señal que tiene un producto ancho de banda-tiempo similar a la de la señal de HFM convencional discutido anteriormente en relación con las figuras 2-2B.

65 Otros códigos generados por un algoritmo genético o combinaciones de tales códigos pueden utilizarse para generar formas de onda de espectro ensanchado alternativas que tienen diferentes duraciones, anchos de banda y frecuencias centrales. Un rango útil de anchos de banda de la señal es de aproximadamente 2500 a 6000. Un rango

útil de anchos de banda de forma de onda es de aproximadamente 500 a 2500 Hz. Un rango útil de duraciones de tiempo es de 10 ms a 1,5 seg.

5 Como se discutió anteriormente, las secuencias de código de fase que tienen características de la señal que no sean un estado binario también se pueden utilizar en la generación de formas de onda de espectro ensanchado. El algoritmo genético puede proporcionar códigos de fase de estado no binarios óptimos.

10 Una salida resultante (no mostrada) generada mediante la realización de una autocorrelación de la forma de onda 122 tiene una anchura de correlación teórica (gobernada por los puntos de potencia media sobre el pico) de 0,763 ms, que se traduce en una resolución de alcance de 0,573 metros utilizando una velocidad del sonido de 1500 m/seg. Como se ha descrito anteriormente en relación con las figuras 2 y 3, la forma de onda 122 puede ser generados de acuerdo con un parámetro de rendimiento fijo asociado con el nivel de interferencia máximo temporal de lóbulo lateral en la forma de onda correlacionada de 28 dB, de modo que los parámetros de rendimiento de esta forma de onda se pueden comparar con los parámetros de rendimiento de la forma de onda de HFM ejemplar 42 de la figura 2 y a la forma de onda de espectro ensanchado 82 de la figura 3A, que se genera utilizando el código de fase de secuencia M 72 de la figura 3. La forma de onda 122 ofrece una resolución de alcance teórico de 0,763 metros en comparación con los anteriormente descritos 0,928 metros para la forma de onda de HFM ventana convencional 42 de la figura 2 para el mismo nivel de interferencia temporal relativa de los lóbulos laterales.

20 Con referencia ahora a la figura 4B, un gráfico 130 incluye un eje horizontal en unidades de frecuencia en Hz y una escala vertical en unidades de decibelios. Una curva 132 es un espectro de potencia de una señal de sonido que puede ser generada por un sistema de sonar de acuerdo con la forma de onda de tiempo de PSK 122 de la figura 4A. La curva de espectro de potencia 132 ha sido normalizada a 0 dB, de modo que todos los niveles se representan con relación a un nivel máximo de potencia de 0 dB.

25 Esta curva 132 es representativa de la forma de onda de tiempo de PSK 122 descrita anteriormente de la figura 4A que tiene desplazamientos de fase de acuerdo con un código de fase 112 de la figura 4 derivada por el algoritmo genético que tiene una frecuencia portadora de aproximadamente 3500 Hz, una duración de tiempo de aproximadamente un segundo, y un ancho de banda de aproximadamente mil Hz.

30 La curva 132 tiene un lóbulo principal 132a, y una pluralidad de lóbulos laterales, de los cuales el lóbulo lateral 132b es sólo un ejemplo. Un experto en la técnica entenderá que la estructura con lóbulos de la curva 132 es un resultado de las formas de onda codificadas genéticamente 122 de la figura 4A. Se entenderá que una anchura 134 del lóbulo principal 132a está asociada con una tasa de bits del código genético 112 de la figura 4. Por lo tanto, el lóbulo principal 132a puede tener una anchura 134 seleccionada de acuerdo con un producto de tiempo de ancho de banda deseado. Un experto en la técnica entenderá que un producto ancho de banda-tiempo está relacionado con una capacidad de detección de una señal en ruido. Aquí, el producto ancho de banda-tiempo es de aproximadamente 1.000 para una duración de un pulso de un segundo.

40 La forma de onda de tiempo de PSK 122 de la figura 4A se conoce como una forma de onda de espectro ensanchado basada en el hecho de que el espectro de banda ancha resultante 132 se consigue mediante la difusión de un componente espectral de banda estrecha (que es una sola frecuencia tonal que tiene dos fases en la frecuencia portadora deseada) a lo largo del espectro 130 a través de medios de modulación de fase.

45 Con referencia ahora a la figura 4C, un gráfico 140 incluye una escala horizontal en unidades de frecuencia y una escala vertical en unidades de tiempo en segundos. El gráfico 140 es un espectrograma representativo de la señal acústica que puede ser generada por un sistema de sonar, de acuerdo con la forma de onda PSK 122 de la figura 4A. Las características del espectrograma 142 del espectrograma 140 se extienden por un período de tiempo de aproximadamente un segundo y corresponde a la forma de onda de tiempo 122 de la figura 4A y para el espectro de potencia 132 de la figura 4B.

50 Las características 142 incluyen una característica dominante 142a, que corresponde al lóbulo principal 132a de la curva de espectro de potencia 132 de la figura 4B, así como características de menor importancia, de las cuales característica menor 142b es sólo un ejemplo. La característica menor 142b corresponde al lóbulo lateral 132b de la figura 4B.

55 La característica dominante 142a tiene un período de frecuencia de aproximadamente 1 kHz de acuerdo con el lóbulo principal 132a de la figura 4B, similar a la de las curvas 32a, 32b, 32c de la figura 2B, que fueron generadas por una orca, y similar a la curva 62 de la figura 2B, que es representativa del sonido generado por un sistema de sonar HFM convencional. El ruido de fondo se añadió a la forma de onda de tiempo 122 de la figura 4A (una parte del cual se muestra en la figura 4A) para asegurar que las características de fondo similares están presentes cuando se comparan las formas de onda de la orca con las formas de onda hechas por el hombre. El espectrograma 140 se calcula a partir de una suma de la forma de onda de ruido de fondo más PSK resultante. El ruido de fondo que se ha añadido a la forma de onda PSK hecha por el hombre se obtuvo tomando muestras de sonidos del océano en las grabaciones de la orca, cuando las transmisiones de la orca no estaban presentes.

- A diferencia ya sea la señal de sonido natural producida por la orca o a las señales de chirrido FM hechas por el hombre descritas anteriormente, el espectrograma 140 de la señal de sonido PSK 122 más el ruido no tiene un componente tonal de banda estrecha que contiene toda la energía de forma de onda en un momento dado que barre en frecuencia como una función del tiempo. En su lugar la señal de sonido PSK 122 tiene un espectro de frecuencia ancha relativamente estacionario como una función del tiempo. En el caso de la señal de sonido 122, la energía de forma de onda se propaga a través del espectro para toda la duración de la transmisión de manera que la energía en cualquier frecuencia en un momento dado es mucho menor que la energía en cualquier forma de onda de una frecuencia dada en cualquier tiempo que está asociado con las formas de onda barridas de banda estrecha.
- El espectrograma 140 para la forma de onda codificada de fase de algoritmo genético 122 es significativamente diferente que el espectrograma 30 (figura 1B) de la señal de sonido natural de la orca y del espectrograma 60 (figura 2B) de la señal de sonido de HFM a pesar de todas las formas de onda tienen anchos de banda y duración similares.
- Al igual que la señal de pseudoaleatoria descrita anteriormente en relación con las figuras 3-3C, para un observador humano, una señal de sonido generada de conformidad con el espectrograma 142 de la figura 4C suena sustancialmente diferente de un sonido generado por una orca, que está representado por el espectrograma 30 de la figura 1B, o un sonido generado por un sonar HFM, que está representado por el espectrograma 60 de la figura 2B. En términos generales, para el observador humano, la señal de sonido suena como un breve silbido, mientras que las señales asociadas a la orca y el sonido tradicional de forma de onda de HFM como un chirrido de aves. Los mamíferos marinos, por lo tanto, no percibirán que la señal sonora codificada genéticamente de espectro ensanchado sea generada por una orca.
- Una forma de onda de espectro ensanchado igual o similar a la fase algoritmo genético codificado de forma de onda 122 se puede utilizar para generar una señal de sonido en un sistema de sonar activo. La señal de sonido resultante puede tener características iguales o similares a la señal de sonido HFM convencional descrita anteriormente, por ejemplo, la misma duración de tiempo (aproximadamente un segundo), la frecuencia central (aproximadamente 3500 Hz), el ancho de banda (aproximadamente 1 kHz), y nivel de fuente (aproximadamente 220 dB re 1  $\mu$ Pa a 1 metro).
- Como se ha descrito anteriormente en relación con la figura 3C, una variedad de factores son indicativos de un rendimiento teórico de cualquier sistema de sonar. Los factores se asocian con el procesamiento de señales que ayudan a determinar el rendimiento de la porción de procesamiento de detección del sistema de sonar incluyen, pero no se limitan a, un producto tiempo-anchura de banda de una señal de sonido transmitida, pico a nivel de los lóbulos laterales de la autocorrelación de la señal de sonido, frecuencia central, ancho de banda, y tiempo de duración de la señal de sonido.
- Un sistema de sonar activo que emplea una forma de onda de espectro ensanchado (construido por el uso de un código de fase generada por un algoritmo genético) que tiene un producto ancho de banda-tiempo idéntico a una forma de onda HFM tradicionalmente podría teóricamente lograr la detección, la localización, el seguimiento, y la capacidad de clasificación similares como el mismo sistema que emplea la forma de onda de HFM tradicional. Sin embargo, la señal de sonido de espectro ensanchado PSK codificada genéticamente no debe causar los mamíferos marinos se varen. Por lo tanto, la señal de sonido de espectro ensanchado PSK codificada genéticamente es una señal de sonido LPMMI.
- Con referencia ahora a la figura 5, un sistema de sonar 180 incluye un generador de forma de onda de baja probabilidad de impacto en mamíferos marinos (LPMMI) 182 adaptado para generar una forma de onda 184a LPMMI y una réplica 184b de la forma de onda LPMMI 184a. La forma de onda LPMMI 184a puede ser una forma de onda de baja probabilidad de intercepción que tiene un espectro ensanchado. La forma de onda LPMMI 184a puede ser, pero no se limita a:
- una señal codificada de fase pseudoaleatoria de secuencia M
  - una señal codificada de fase de algoritmo genético de estado binario.
  - una forma de onda de espectro ensanchado generada por medio de la modulación con un código de fase que tiene más de dos estados. Este código de fase se genera mediante un algoritmo genético.
  - una forma de onda de espectro ensanchado generada por medio de modulación con un código de fase utilizando códigos Barker.
  - una forma de onda de espectro ensanchado generada por medio de modulación con un código de fase usando códigos Gold.
  - una forma de onda de espectro ensanchado generado por medio de modulación con un código de fase utilizando códigos Welts.

En una realización particular, la forma de onda LPMMI 184a puede tener una frecuencia (central) portadora de aproximadamente 3.500 Hz, un ancho de banda de alrededor de 1.000 Hertz, y una duración de tiempo de aproximadamente un segundo para emular algunas características de la señal de sonido convencional HFM 42 de la figura 2 utilizada en algunas formas de sistemas de sonar convencionales. Sin embargo, la forma de onda LPMMI 84a puede tener una frecuencia (central) portadora en el rango de 2500 a 6000 Hertz, un ancho de banda en el

rango de 500 a 2500 Hz, y una duración de tiempo en el intervalo de 10 mseg a 1,5 seg.

5 El sistema de sonar 180 también incluye un transmisor de sonar 186 adaptado para recibir la forma de onda LPMMI 184a y para transmitir una señal de sonido 194 en el agua de acuerdo con la forma de onda LPMMI 184a. El transmisor del sonar 186 puede incluir un amplificador de potencia 188 acoplado para recibir la forma de onda LPMMI 184a. El amplificador de potencia 188 está acoplado a uno o más elementos de transmisión 192, que están adaptados para generar la señal de sonido 194. En algunas realizaciones, los elementos de transmisión 192 están dispuestos en un arreglo sonar de transmisión (no mostrado), y la señal de sonido 194 es una señal de sonido en forma de haz. En algunas disposiciones, hay un amplificador de potencia separado asociado con cada uno de, o con grupos de los elementos de transmisión 192.

15 El sistema de sonar 180 también incluye un receptor de sonar 200 adaptado para recibir una señal de sonido 198 asociada con la señal de sonido transmitida 194 y para generar una señal acondicionada 208 de acuerdo con la señal de sonido recibida 198. La señal de sonido recibida 198 puede ser generada por un eco de la señal de sonido transmitida 194 desde una diana 196.

20 El receptor de sonar 200 puede incluir uno o más elementos de recepción 202 adaptados para recibir la señal de sonido 198. En algunas realizaciones, los elementos receptores 202 están dispuestos en una disposición de sonar de recepción (no mostrado), que puede ser la misma que la disposición de sonar de transmisión o diferente de la disposición de sonar de transmisión. Los elementos de recepción 202 puede ser acoplados a un módulo de acondicionamiento de señales 206 adaptado para proporcionar una variedad de funciones, que pueden incluir, pero que no se limitan a, la amplificación, la ganancia variable en el tiempo, la demodulación de la portadora, el filtrado de paso de banda, y la formación de haz, y adaptados para generar una señal acondicionada 208 en conexión con ellas.

25 El sistema de sonar 180 también puede incluir un procesador de sonar 210 adaptado para procesar la señal acondicionada 208. El procesador de sonar 210 puede incluir un procesador de correlación 212, acoplado para recibir la forma de onda acondicionada 208. El procesador de correlación 212 está adaptado para proporcionar una señal de correlación 214, que puede ser acoplada a un procesador de detección 216. El procesador de sonar 210 también puede incluir un procesador de localización 220 acoplado al procesador de detección 216 y al procesador de correlación 212. El procesador de sonar 210 también puede incluir un procesador de clasificación 224 acoplado al procesador de detección 220 y al procesador de correlación 212. En algunas realizaciones, uno o más de los procesadores 216, 220, 224 puede ser omitido.

35 El procesador de correlación 212 está adaptado para correlacionar la forma de onda recibida 208 con una o más versiones 184b de la forma de onda LPMMI 184a. En algunas realizaciones, la una o más versiones 184b de la forma de onda LPMMI 184a puede representar una pluralidad de desplazamientos Doppler esperados de la señal de sonido recibida 198, de acuerdo con un movimiento relativo entre el sistema de sonar 180 y la diana 196. En consecuencia, el procesador de correlación 212 proporciona una forma de onda correlacionada 214.

40 El procesador de detección 216 está adaptado para detectar la diana 196 a partir de la forma de onda correlacionada 214 usando las estimaciones de energía de la señal frente a la energía del ruido derivado de la forma de onda correlacionada 214 como una función del tiempo y utilizando umbrales en base a modelos de ruido preestablecidos y un criterio de tasa de falsa alarma constante (CFAR). Una señal de detección 218 se proporciona, lo cual es indicativo de una detección de la diana 196. El procesador de localización 220 está adaptado para recibir la señal de detección 218 y también la forma de onda correlacionada 214 y para proporcionar una señal de localización 224 en consecuencia, que es indicativa de una localización de la diana detectada 196 en el rango, y/o en profundidad, y/o en el ángulo de azimut y/o el ángulo de depresión. El procesador de clasificación 224 está adaptado para recibir la señal de detección 218 y también la forma de onda correlacionada 214 y para proporcionar una señal de salida 226 en consecuencia, lo que es indicativo de un tipo de diana 196.

55 Se debe apreciar que la figura 6 muestra un diagrama de flujo correspondiente a la técnica contemplada más adelante que se implementó en el sistema de sonar 180 (figura 5). Elementos rectangulares (tipificados por elemento 232 en la figura 6), en el presente documento indicados como "bloques de procesamiento," representan instrucciones de software informático o grupos de instrucciones.

60 Alternativamente, los bloques de procesamiento representan etapas realizadas por circuitos funcionalmente equivalentes tales como un circuito de procesador de señal digital o un circuito integrado de aplicación específica (ASIC). El diagrama de flujo no representa la sintaxis de cualquier lenguaje de programación en particular. Por el contrario, los diagramas de flujo ilustran la información funcional que alguien de experiencia ordinaria en la técnica requiere para fabricar circuitos o para generar software de ordenador para realizar el procesamiento necesario del aparato en particular. Debe tenerse en cuenta que muchos elementos de programas de rutina, como la inicialización de bucles y variables y el uso de variables temporales no se muestran. Se apreciará por los expertos en la técnica que a menos que se indique lo contrario en el presente documento, la secuencia particular de bloques descrita es sólo ilustrativa y se puede variar sin apartarse del espíritu de la invención. Por lo tanto, a menos que se indique lo contrario los bloques descritos a continuación están desordenados significando que, cuando sea posible, las etapas



se pueden realizar en cualquier orden conveniente o deseable.

Con referencia ahora a la figura 6, un método 230 de detección de dianas utilizado en un sistema de sonar comienza en el bloque 232, donde se genera una forma de onda de baja probabilidad de intercepción (LPMMI). La forma de onda LPMMI puede ser una forma de onda de baja probabilidad de intercepción que tiene un espectro ensanchado. La forma de onda LPMMI puede ser, pero no se limita a:

- una señal codificada de fase pseudoaleatoria de secuencia M
- una señal codificada de fase de algoritmo genético de estado binario.
- una forma de onda de espectro ensanchado generada por medio de la modulación con un código de fase que tiene más de dos estados. Un algoritmo genético genera el código de fase.
- una forma de onda de espectro ensanchado generada por medio de modulación con un código de fase utilizando códigos Barker.
- una forma de onda de espectro ensanchado generada por medio de modulación con un código de fase usando códigos Gold.
- una forma de onda de espectro ensanchado generada por medio de modulación con un código de fase utilizando códigos Weltri.

En una realización particular, la forma de onda LPMMI puede tener una frecuencia portadora (central) de aproximadamente 3.500 Hz, un ancho de banda de aproximadamente 1.000 Hertz y una duración de tiempo de aproximadamente un segundo para emular algunas características de las señales de sonido FM convencionales utilizadas en algunas formas de sistemas de sonar convencionales. Sin embargo, en otras realizaciones, la forma de onda LPMMI puede tener una frecuencia portadora (central) en el rango de 2.500 hasta 6.000 Hertz, un ancho de banda en el rango de 500 a 2500 Hz, y una duración de tiempo en el intervalo de 10 mseg a 1,5 segundos.

En el bloque 234, una señal de sonido se transmite en el agua de acuerdo con la forma de onda LPMMI generada en el bloque 232. En el bloque 236, se recibe una señal de sonido, que se asocia con la señal de sonido transmitida que se transmite en el bloque 234. La señal recibida puede incluir un eco de la señal de sonido transmitida desde un objetivo.

Una señal acondicionada se genera en el bloque 238 de la señal de sonido recibida en el bloque 236. La función realizada en el bloque 238 puede incluir, pero no se limita a, la amplificación de la señal, la ganancia variable en el tiempo o el control automático de ganancia, la demodulación de la portadora, el filtrado de paso de banda, la conversión de analógico a digital, y la formación del haz. En algunas realizaciones, la formación de haz que se puede proporcionar en el bloque 238 puede resultar en una pluralidad de canales de formación de haz.

En el bloque 240, la señal acondicionada proporcionada en el bloque 240 (que puede incluir, por ejemplo, más de una señal de formación de haz) se correlaciona con una o más versiones de la forma de onda LPMMI generada en el bloque 232 para proporcionar una forma de onda correlacionada.

En el bloque 242, la forma de onda correlacionada se procesa para detectar una diana. En el bloque 246, una diana detectada puede ser localizada, y en el bloque 248 la diana detectada se puede clasificar. En otras realizaciones, uno cualquiera de los bloques 242, 244, de 246 puede ser omitido.

Varios ejemplos de señales de sonido LPMMI se han descrito anteriormente, que puede ser utilizados en un sistema de sonar como una alternativa a la señal de sonido FM convencional (tanto lineal como hiperbólica). Cada una de estas señales de sonido LPMMI tiene características que resultan en sonido percibido bastante diferente de los sonidos naturales producidos por una orca y también bastante diferente de una señales de sonido FM hecho por el hombre. Esta diferencia es evidente cuando los espectrogramas 100, 140 (figuras 3C, 4C, respectivamente) de las señales de sonido LPMMI se comparan con el espectrograma 30 (figura 1B) de la orca y para el espectrograma 60 (figura 2B) de la señal sonido de HFM convencional.

Las señales de sonido LPMMI descritas anteriormente son señales de sonido de espectro ensanchado LPI que tienen firmas similares al ruido sobre un ancho de banda predeterminado, a diferencia de una característica tonal de banda estrecha dependiente del tiempo de una señal de sonido FM. La diferencia significativa en las características de tiempo-frecuencia de las señales de sonido de espectro ensanchado LPMMI sugiere que estas señales de sonido LPMMI no causarán que los mamíferos marinos reaccionen de una manera negativa en la presencia de estas señales de sonido LPMMI.

Como se describió anteriormente, el rendimiento predicho de las dos señales de sonido espectro ensanchado LPMMI se puede evaluar mediante el análisis de las salidas proporcionadas por someter estas formas de onda a las funciones de la función de autocorrelación y la ambigüedad. Se espera que cada una de estas formas de onda tenga un rendimiento similar en cuanto a la ganancia de correlación teórica esperada (en presencia de ruido no correlacionado) ya que todos ellos comparten productos tiempo-ancho de banda idénticos. Cada una de las formas de onda LPMMI antes descritas comparte una frecuencia central, duración de tiempo y ancho de banda similar. Los diversos parámetros de rendimiento incluyendo pero no limitado a la resolución de rango teórica, la ganancia de

correlación teórica, la resolución Doppler teórico, la tolerancia Doppler, y los niveles de interferencia del lóbulo lateral, tanto en rango y Doppler están todos interrelacionados de forma que la optimización de una forma de onda de un parámetro tiene un efecto en los otros parámetros (muchas veces estas relaciones son inversamente proporcionales). La única manera de establecer una comparación significativa entre las formas de onda LPMMI de ejemplo y el ejemplo de la forma de onda de HFM tradicional es fijar el nivel de un parámetro de rendimiento para todas las formas de onda que se están evaluando, mientras que se deja que todos los demás parámetros varíen. El rendimiento previsto de la forma de onda de HFM frente a las dos formas de onda LPMMI en términos de ancho de correlación teórica (es decir, resolución de alcance) para un nivel de interferencia del lóbulo lateral fijo se resume en la Tabla 1.

Tabla 1: Comparación de Rendimiento Autocorrelación - Resolución Teórica de Rango

Tipo de forma de onda	Resolución de Rango Teórica Dada Por el Ancho 3dB del Pico deAutocorrelación	Mayor Nivel de Interferencia de lóbulo lateral de autocorrelación
Forma de onda HFM con Ventana de Gauss ( $\alpha = 1,5$ )	0,928	-28
Secuencia M de fase codificada	0,562	-29
Fase de Algoritmo Genético codificado	0,763	-27

Aunque se han descrito anteriormente señales de sonido LPMMI particulares, otras señales de sonido LPMMI también se pueden generar de acuerdo con la presente invención. Otras señales de sonido que pueden ser generadas con la presente invención incluyen, pero no se limitan a:

- una forma de onda de espectro ensanchado generada por medio de la modulación con un código de fase que tiene más de dos estados. Este código de fase se genera mediante un algoritmo genético.
- una forma de onda de espectro ensanchado generada por medio de la modulación con un código de fase utilizando códigos Barker.
- una forma de onda de espectro ensanchado generada por medio de la modulación con un código de fase usando códigos Gold.
- una forma de onda de espectro ensanchado generada por medio de la modulación con un código de fase utilizando códigos Weltri.

En general, se selecciona el componente de modulación de una forma de onda LPMMI para reducir una respuesta de comportamiento de un mamífero marino que se produciría cuando se transmite otra señal de sonido de acuerdo con otra forma de onda que tiene aproximadamente el mismo componente de duración de tiempo, aproximadamente el mismo componente de ancho de banda, y aproximadamente el mismo componente de frecuencia central que la forma de onda LPMMI pero que tiene un componente de modulación que comprende una modulación de frecuencia.

Las comparaciones de rendimiento que se ha descrito anteriormente se han realizado entre las diversas formas de onda descritas en el presente documento se basan en someter las diversas formas de onda artificiales a las funciones de autocorrelación y ambigüedad. Cinco parámetros derivados de estas funciones son:

- 1) una resolución de alcance teórico proporcionada por la compresión de forma de onda que resulta de procesamiento de filtro adaptado (esto es sinónimo de la anchura de correlación de la forma de onda) a Doppler cero
- 2) una resolución Doppler teórico proporcionada por el contenido de frecuencia de forma de onda correlacionada (esto es sinónimo de calcular el espectro de potencia de la salida de la función de autocorrelación para la forma de onda)
- 3) el nivel de interferencia de lóbulo lateral teórico en el dominio del tiempo/rango derivado mediante la evaluación de la salida a partir de someter la forma de onda a la función de autocorrelación en la ausencia de ruido
- 4) el nivel de interferencia de lóbulo lateral teórico en el dominio Doppler derivado mediante la evaluación de la salida a partir de someter la forma de onda a la función de ambigüedad en la ausencia de ruido
- 5) una indicación de la degradación esperada en lo que respecta a la ganancia esperada del filtro adaptado cuando la forma de onda de entrada se somete a diferentes grados de distorsión Doppler inducida. Esto se deriva de la función de ambigüedad.

**REIVINDICACIONES**

1. Un sistema de sonar (180) que comprende:

5 un generador de forma de onda (182) adaptado para generar una forma de onda de baja probabilidad de impacto en mamíferos marinos, LPMMI, que tiene un componente de modulación, un componente de duración de tiempo, un componente de ancho de banda, y un componente de la frecuencia central; y un transmisor de sonar (186) acoplado al generador de forma de onda y adaptado para transmitir una señal de sonido en el agua de acuerdo con la forma de onda LPMMI,  
 10 donde la forma de onda LPMMI comprende una forma de onda modulada por desplazamiento de baja probabilidad de interceptación, LPI, que tiene un espectro ensanchado, **caracterizado por que** la forma de onda LPMMI tiene un componente de frecuencia central en el rango de 2500 a 6000 Hertz, un componente de ancho de banda en el rango de 500 a 2500 Hertz, y un componente de duración de tiempo en el intervalo de 10 mseg a 1,5 segundos;  
 15 donde el componente de modulación de la forma de onda LPMMI se selecciona para hacer que la señal de sonido LPMMI asociada tenga un espectro de frecuencia de ancho relativamente estacionario que de ese modo suena diferente de una orca para reducir una respuesta de comportamiento a partir de un mamífero marino en comparación con la que se produciría cuando se transmite otra señal de sonido de acuerdo con otra forma de onda que tiene aproximadamente el mismo componente de duración de tiempo, aproximadamente el mismo  
 20 componente de ancho de banda, y aproximadamente el mismo componente de frecuencia central de la forma de onda LPMMI pero que tiene un componente de modulación que comprende una modulación de frecuencia.

2. El sistema de sonar de la reivindicación 1, donde la forma de onda LPI comprende al menos una de una señal codificada de fase pseudoaleatoria de secuencia M, una señal codificada de fase de código Barker, una señal  
 25 codificada de fase de código Welty, una señal de fase codificada de código Gold, o una señal codificada de fase de algoritmo genético.

3. El sistema de sonar de la reivindicación 2, donde la forma de onda LPI tiene un componente de frecuencia central de aproximadamente 3.500 Hertz, un componente de ancho de banda de alrededor de 1.000 Hertz, y un  
 30 componente de tiempo de duración de aproximadamente un segundo.

4. El sistema de sonar de la reivindicación 2, donde la forma de onda LPI comprende una señal codificada de fase de algoritmo genético, donde se selecciona el algoritmo genético para mejorar una correlación de una señal de  
 35 sonido recibida.

5. El sistema de sonar de la reivindicación 2, donde la forma de onda LPI genética comprende una señal codificada de fase de algoritmo genético, donde el algoritmo genético se selecciona para mejorar una precisión de detección, una precisión de localización, una precisión de seguimiento, o una precisión de clasificación proporcionada por el  
 40 sistema de sonar.

6. El sistema de sonar de la reivindicación 2, donde la forma de onda LPI comprende una señal codificada de fase de algoritmo genético, donde el algoritmo genético se selecciona para aumentar la probabilidad de detección del sistema de sonar o para reducir una tasa de falsas alarmas del sistema de sonar.

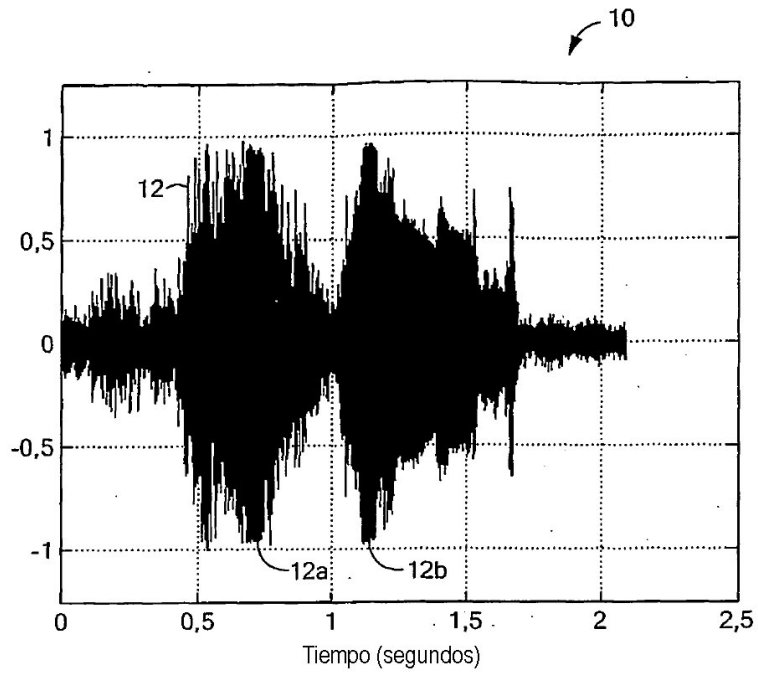
7. El sistema de sonar de la reivindicación 2, donde la forma de onda LPI comprende una señal codificada de fase de algoritmo genético, donde se selecciona el algoritmo genético para reducir una potencia acústica transmitida por el sistema de sonar.

8. El sistema de sonar de la reivindicación 1, que comprende además:  
 50 un receptor sonar (200) adaptado para recibir una señal de sonido asociada con la señal de sonido transmitida y para generar una señal de conformidad con la señal de sonido recibida acondicionada; y un procesador de correlación (212) adaptado para correlacionar la señal acondicionada con una versión de la forma de onda LPI y para generar una señal correlacionada en consecuencia; y  
 55 al menos uno de un procesador de detección (216) adaptado para detectar una diana (196) y para proporcionar una señal de detección en respuesta a la señal correlacionada, un procesador de localización (220) adaptado para localizar la diana (196) en respuesta a la detección del objetivo, o procesador de clasificación (222) adaptado para clasificar un objetivo (196) en respuesta a la detección de la diana.

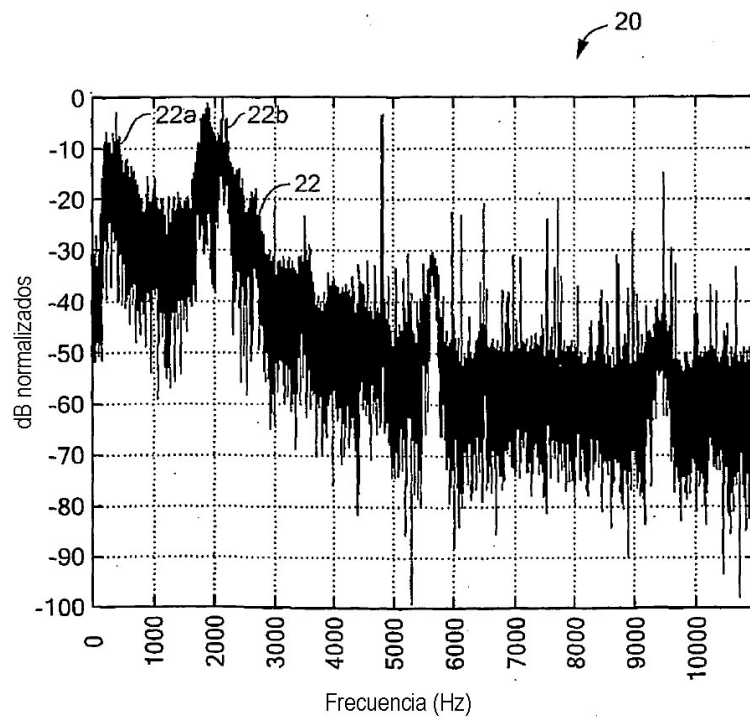
9. El sistema de sonar de la reivindicación 1, donde la forma de onda de un generador (182) está adaptada además para generar otra forma de onda LPMMI que tiene al menos uno de: un componente de modulación diferente, un componente de tiempo de duración diferente, un componente de ancho de banda diferente, o un componente de frecuencia central diferente, y donde el transmisor sonar está configurado además para transmitir otra señal de  
 60 sonido en el agua de acuerdo con dicha otra forma de onda.

65

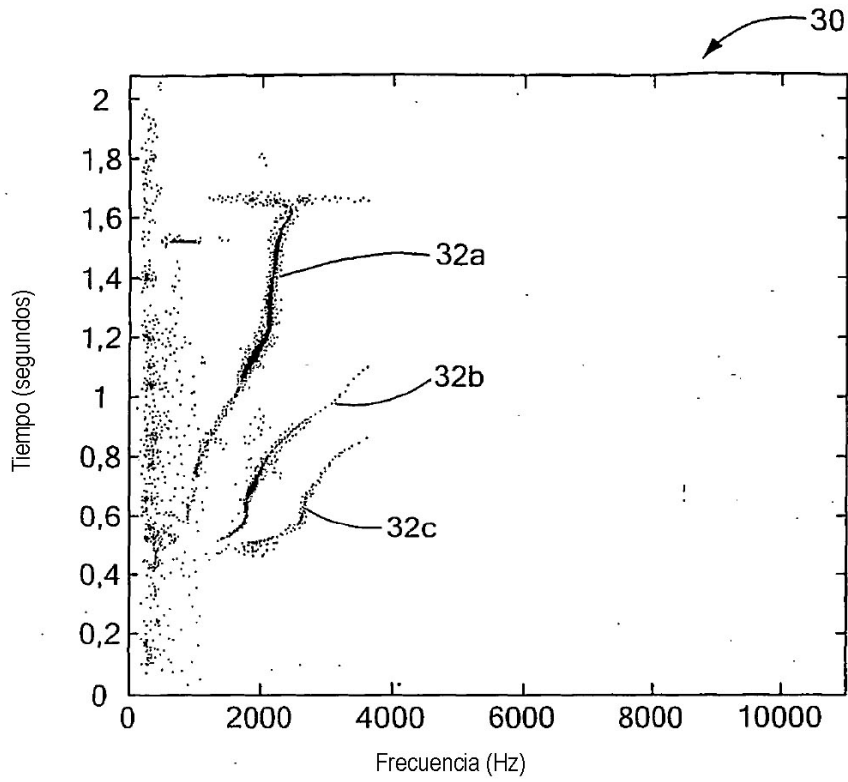
10. Un método de detección de dianas por el sonar, que incluye las etapas de generar al menos una baja probabilidad de impacto en mamíferos marinos, LPMMI, teniendo la forma de onda un componente de modulación, un componente de duración de tiempo, un componente de ancho de banda, y un componente de la frecuencia central; y
- 5 transmitir una señal de sonido LPMMI en el agua de acuerdo con la forma de onda LPMMI, donde la forma de onda LPMMI comprende una forma de onda de modulación por desplazamiento de fase de baja probabilidad de interceptación, LPI, que tiene un espectro ensanchado, y
- 10 donde la forma de onda LPMMI tiene un componente de frecuencia central en el rango de 2.500 a 6.000 Hertz, un componente de ancho de banda en el rango de 500 a 2500 Hertz, y un componente de duración de tiempo en el intervalo de 10 mseg a 1,5 segundos,
- 15 donde se selecciona el componente de modulación de la forma de onda LPMMI para causar la señal de sonido LPMMI asociada para tener un espectro de frecuencia ancho relativamente estacionario resonancia que de ese modo suena diferente de una orca para reducir una respuesta de comportamiento a partir de un mamífero marino en comparación con la que se produciría cuando se transmite otra sonido señal de acuerdo con otra forma de onda que
- 20 tiene aproximadamente el mismo componente de duración de tiempo, aproximadamente el mismo componente de ancho de banda, y aproximadamente el mismo componente de frecuencia como centro de la forma de onda LPMMI pero que tiene un componente de modulación que comprende una modulación de frecuencia.
11. El método de la reivindicación 10, donde la forma de onda LPI comprende al menos una de una señal codificada de fase pseudoaleatoria de secuencia M, una señal codificada de fase de código Barker, una señal codificada de fase de código Welty, una señal codificada de fase de código Gold, o una señal codificada de fase de algoritmo genético.
- 25 12. El método de la reivindicación 11, donde la forma de onda LPI tiene un componente de frecuencia central de aproximadamente 3.500 Hertz, un componente de ancho de banda de alrededor de 1.000 Hertz, y un componente de tiempo de duración de aproximadamente un segundo.
- 30 13. El método de la reivindicación 11, donde la forma de onda LPI comprende una señal codificada de fase de algoritmo genético, donde el algoritmo genético se selecciona para optimizar una correlación de una señal de sonido recibida.
- 35 14. El método de la reivindicación 11, donde la forma de onda LPI comprende una señal codificada de fase de algoritmo genético, donde el algoritmo genético se selecciona para mejorar una precisión de detección, una precisión de localización, una precisión de seguimiento, o una precisión de la clasificación proporcionada por el sistema de sonar.
- 40 15. El método de la reivindicación 11, donde la forma de onda LPI comprende una señal codificada de fase de algoritmo genético, donde el algoritmo genético se selecciona para aumentar la probabilidad de detección del sistema de sonar o para reducir una tasa de falsa alarma.
- 45 16. El método de la reivindicación 11, donde la forma de onda LPI comprende una señal codificada de fase de algoritmo genético, donde se selecciona el algoritmo genético para reducir una potencia acústica transmitida.
- 50 17. El método de la reivindicación 10, que comprende además las etapas de:
- recibir una señal de sonido asociada con la señal de sonido transmitida;
- generar una forma de onda recibida de conformidad con la señal de sonido recibida;
- correlacionar la forma de onda recibida con una versión de la forma de onda LPI para proporcionar una señal de correlación; y
- 55 al menos uno de:
- detectar una diana y proporcionar una señal de detección en respuesta a la señal de correlación;
- localizar una diana en respuesta a la detección de la diana, o;
- clasificar una diana en respuesta a la detección de la diana.
- 60 18. El método de la reivindicación 10, que comprende además:
- generar otra forma de onda LPMMI que tiene al menos uno de un componente de modulación diferente, un componente de tiempo de duración diferente, un componente de ancho de banda diferente, o un componente de frecuencia central diferente; y
- transmitir otra señal de sonido en el agua, de acuerdo con la citada otra forma de onda LPMMI.



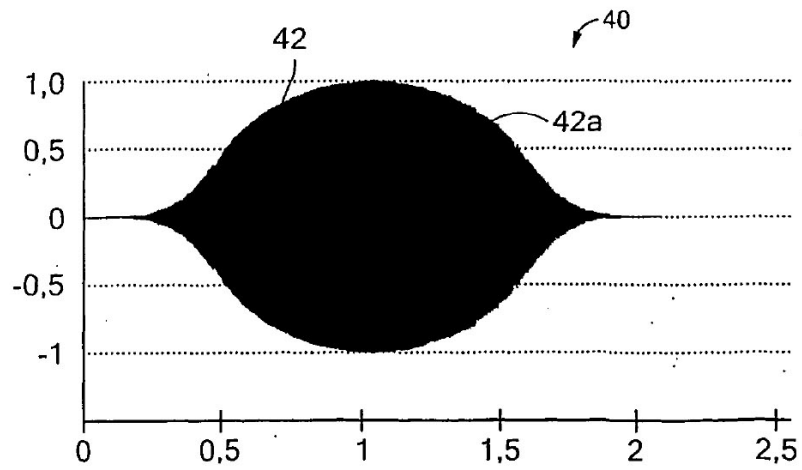
**FIG. 1**



**FIG. 1A**

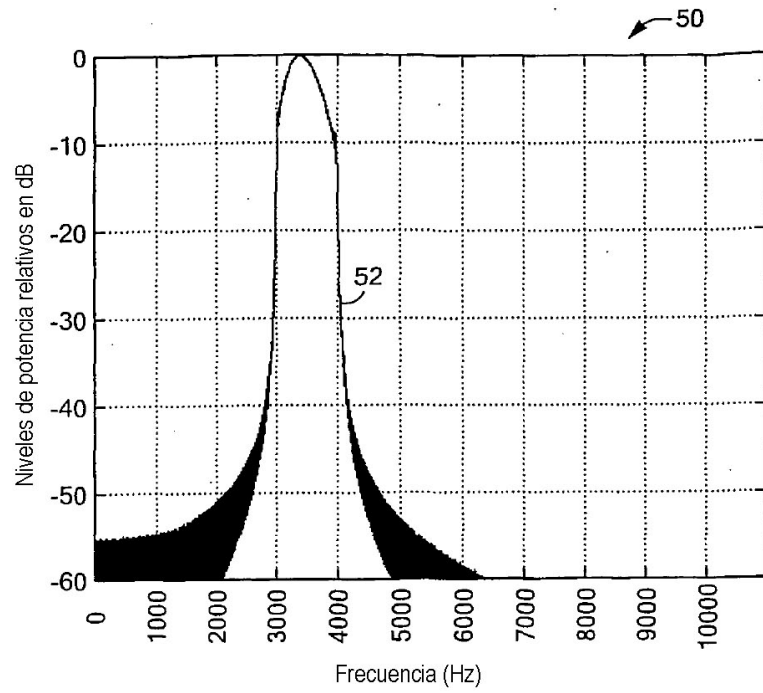


**FIG. 1B**

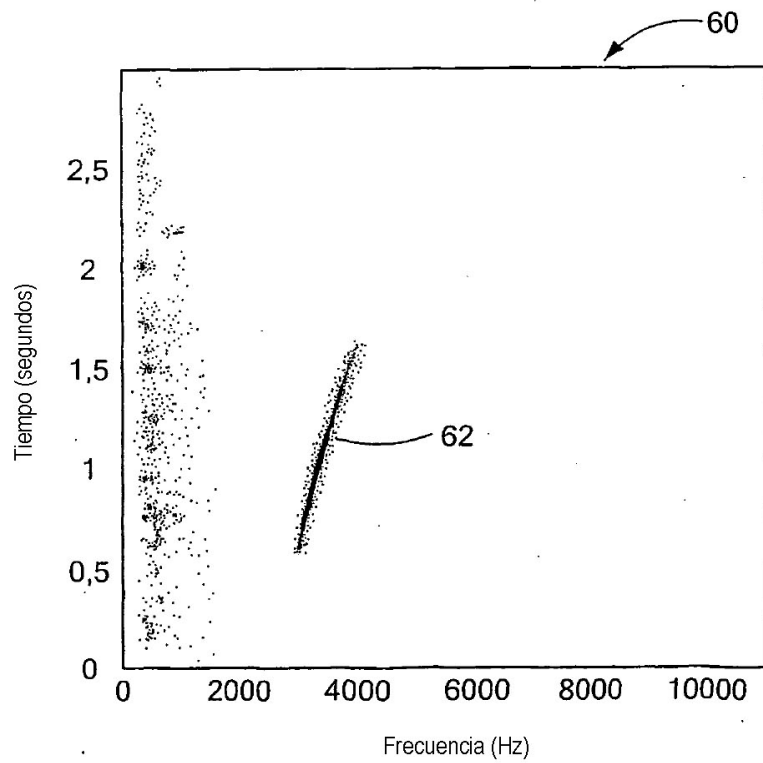


**FIG. 2**

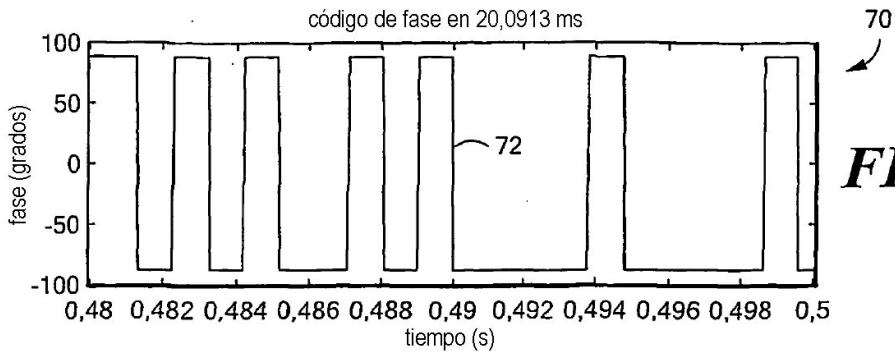
TÉCNICA ANTERIOR



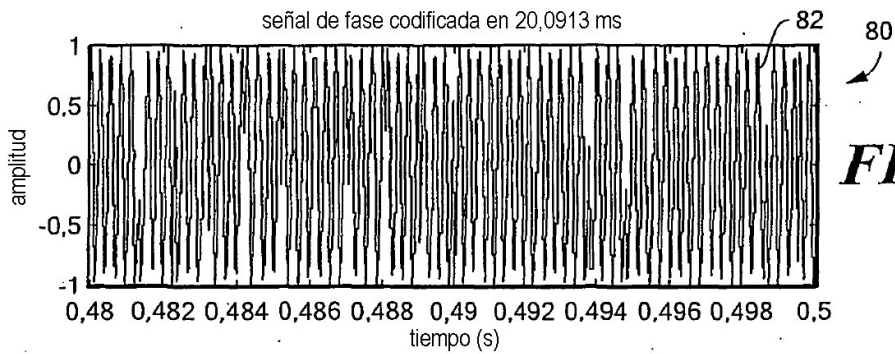
**FIG. 2A** TÉCNICA ANTERIOR



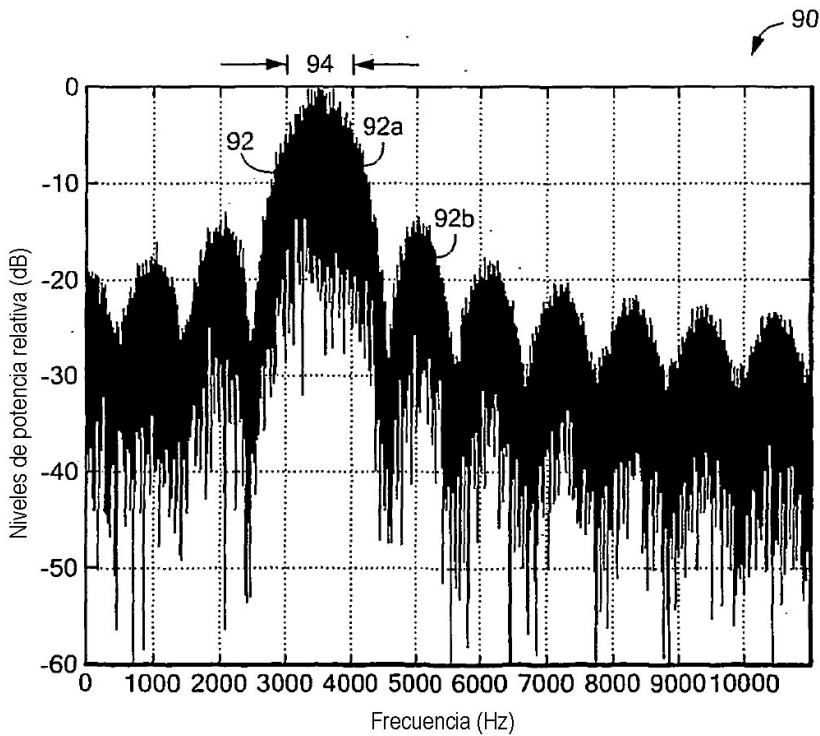
**FIG. 2B** TÉCNICA ANTERIOR



**FIG. 3**

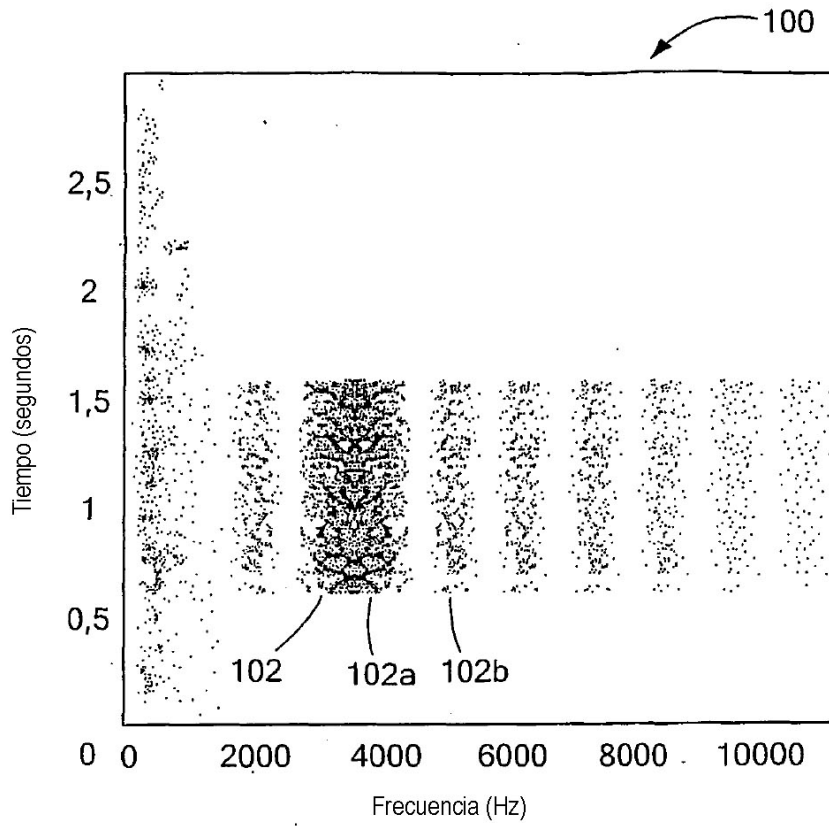


**FIG. 3A**

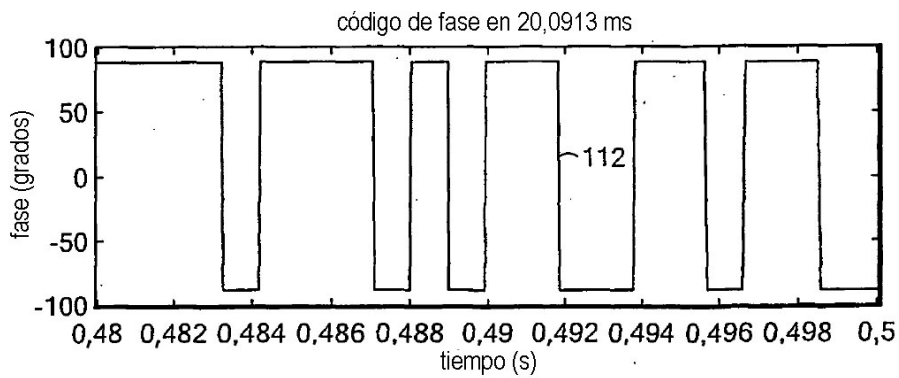


**FIG. 3B**

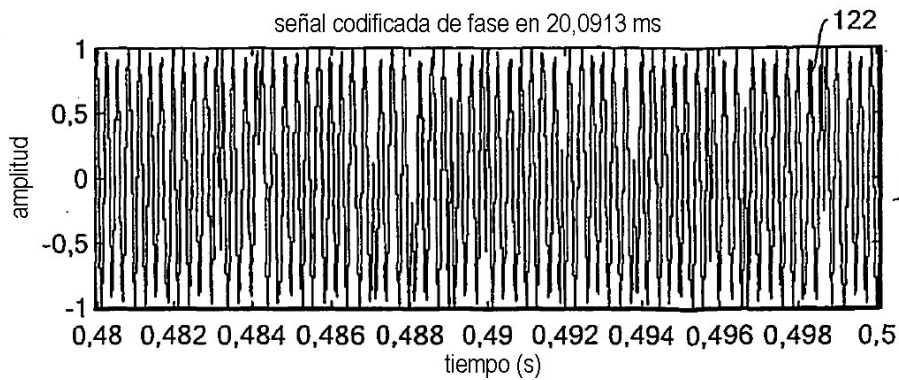




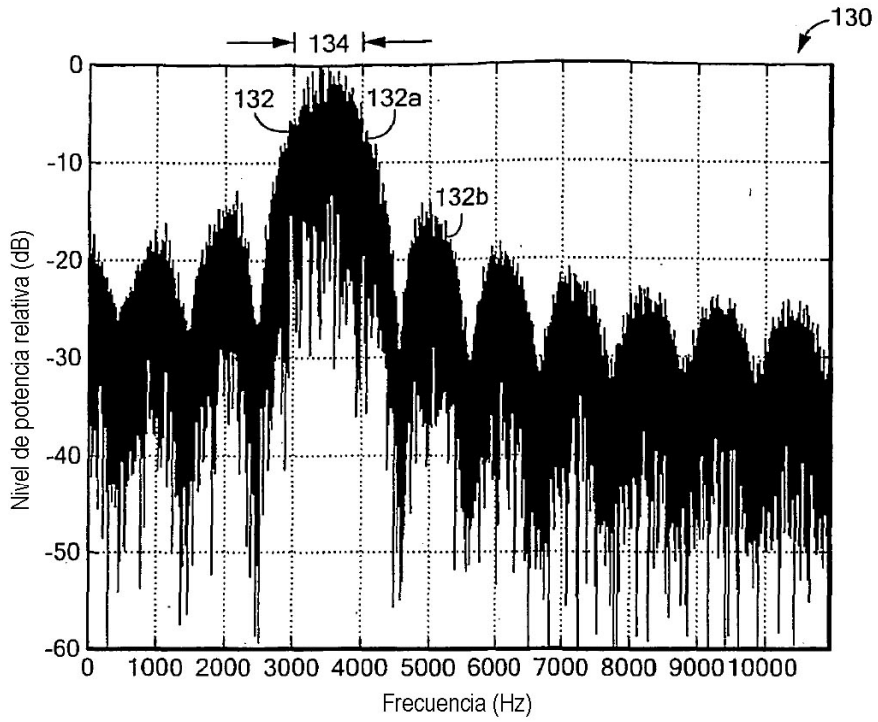
**FIG. 3C**



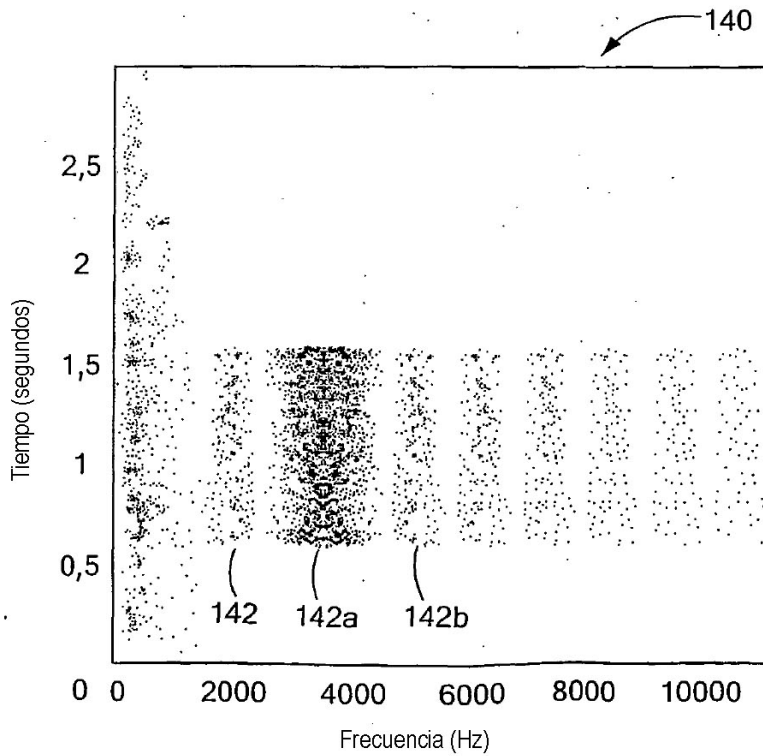
**FIG. 4**



**FIG. 4A**



**FIG. 4B**



**FIG. 4C**

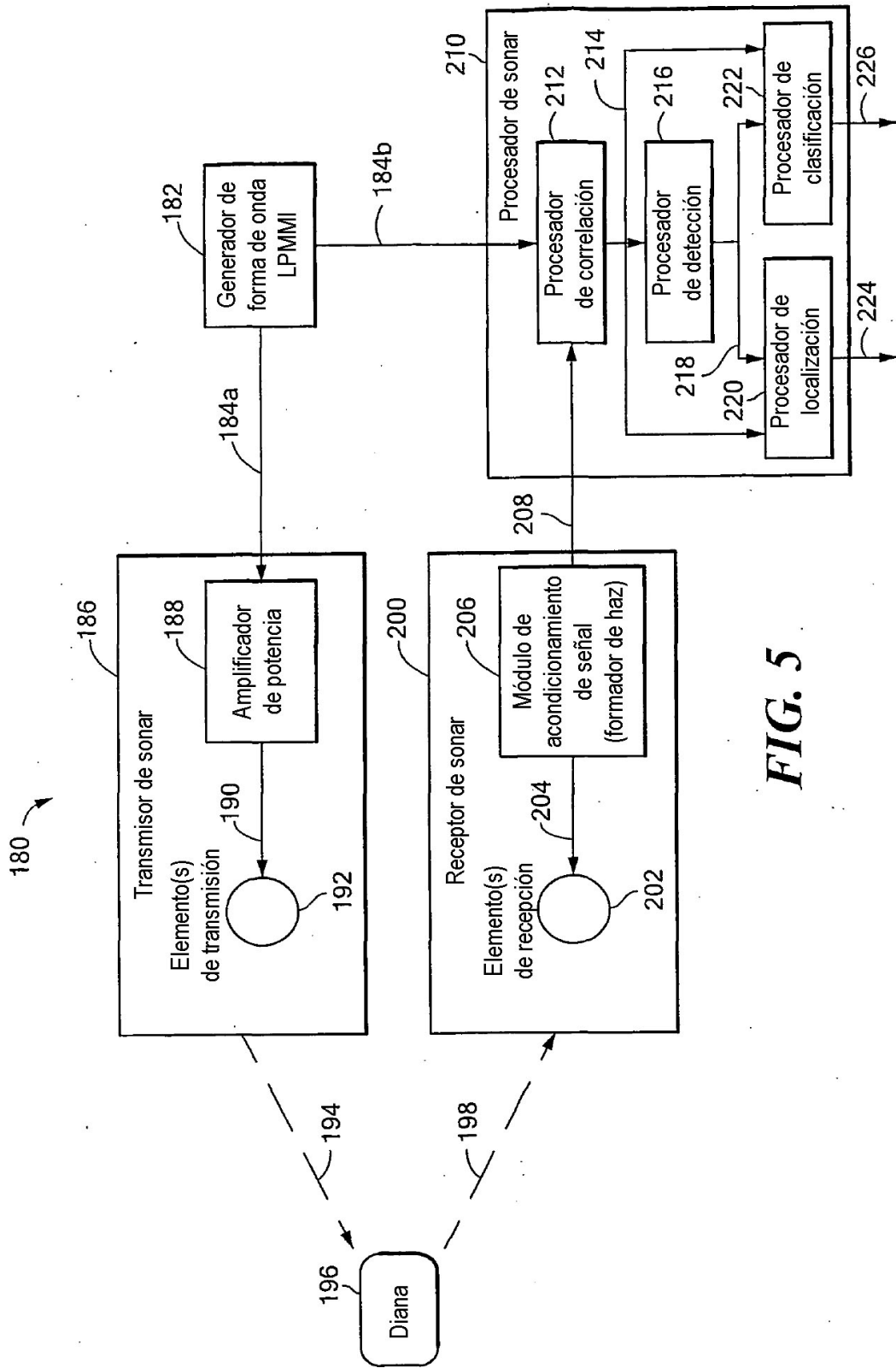
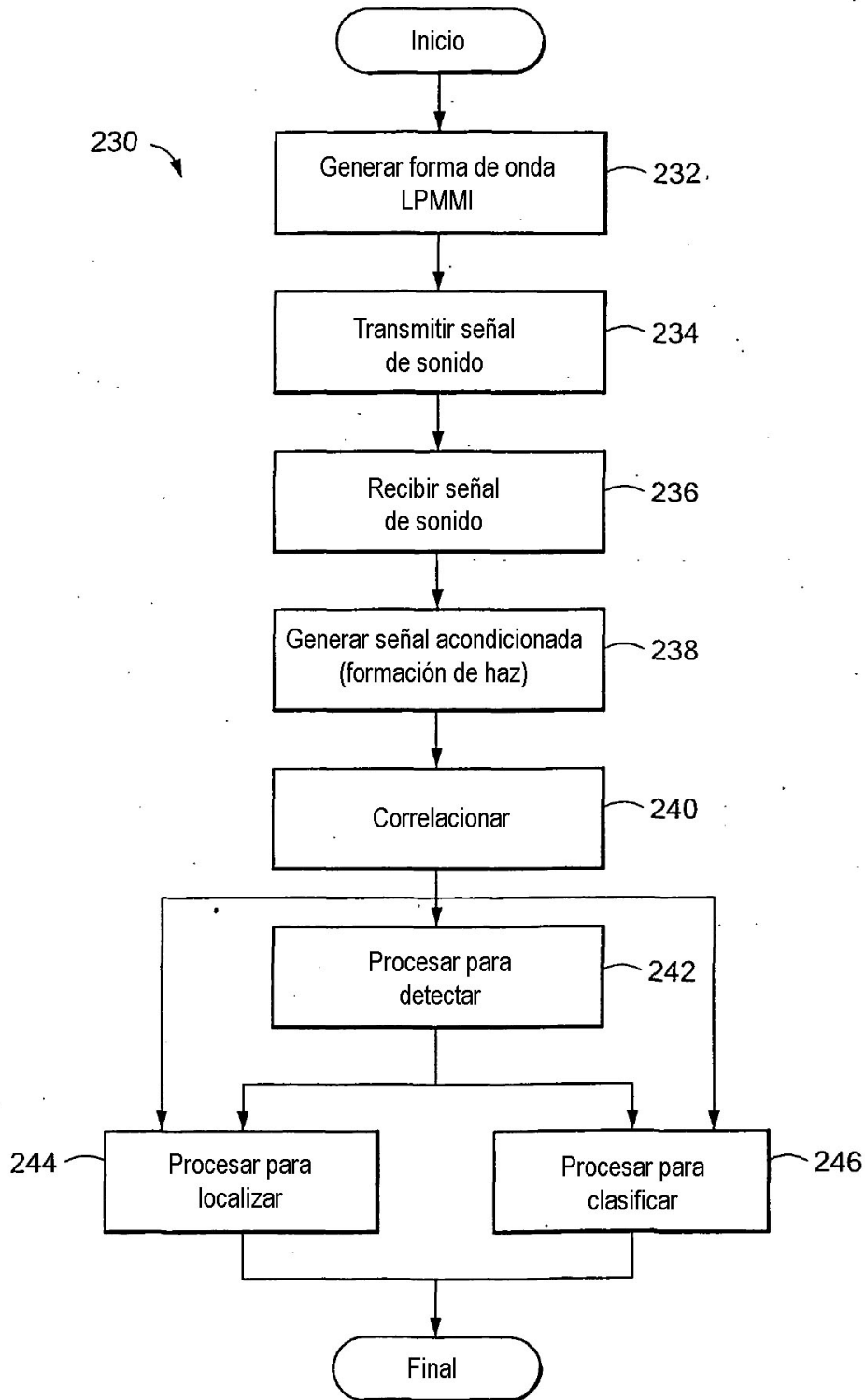


FIG. 5



**FIG. 6**