

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 727 518**

51 Int. Cl.:

B64C 11/30 (2006.01)

G01S 11/02 (2010.01)

G01S 11/08 (2006.01)

F03D 17/00 (2006.01)

F03D 13/30 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.09.2014 PCT/US2014/054438**

87 Fecha y número de publicación internacional: **12.03.2015 WO15035270**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.09.2014 E 14841733 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.02.2019 EP 3041736**

54 Título: **Medición de distancia de vuelo de ida**

30 Prioridad:

06.09.2013 US 201361874963 P
05.09.2014 US 201414479236

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
16.10.2019

73 Titular/es:

**LM WIND POWER INTERNATIONAL
TECHNOLOGY II APS (100.0%)
Jupitervej 6
6000 Kolding , DK**

72 Inventor/es:

**DEWBERRY, BRANDON, SCOTT;
PEDERSEN, GERT, FRØLUND y
EGGERS, PATRICK CLAUS FRIEDRICH**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 727 518 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

Medición de distancia de vuelo de ida

Campo técnico

5 Esta divulgación se refiere, generalmente, al campo de la medición de distancia por propagación de señal, más particularmente a mediciones de alta precisión para aplicaciones de investigación e industriales.

Antecedentes

10 Existe una necesidad en la construcción, la fabricación y la investigación para medir con precisión las distancias a través de materiales no metálicos, tales como los que se utilizan para la construcción de edificios o para el soporte estructural en grandes dispositivos mecánicos. Esta invención se puede usar bien para investigaciones estáticas, mediciones dinámicas del movimiento de flexión o bien la flexión durante la prueba y la operación o, cuando se usa en multitud, la localización dinámica de precisión.

La medición directa de la flexión del enlace y/o la ubicación del efector de extremo puede permitir el uso de una construcción más liviana y una dinámica más rápida en los procesos industriales.

15 La patente estadounidense 5510800 divulga una configuración de radar biestática capaz de medir el tiempo de vuelo. la misma utiliza una transmisión de una secuencia de pulsos electromagnéticos y luego procesa una respuesta de señal a esos pulsos electromagnéticos en un receptor que opera bajo el control de una señal de sincronización de recepción que rige el muestreo, tal que el tiempo entre la transmisión de los pulsos en la secuencia y el muestreo por el receptor barre sobre un alcance de retardos.

Los aspectos de la invención se definen en las reivindicaciones adjuntas.

20 **Breve descripción de la divulgación**

La presente divulgación se refiere, generalmente, a un sistema y método para determinar la distancia y/o la posición en relación con uno o más puntos mediante la transmisión de una señal de banda ancha por una primera antena, recepción de la señal de banda ancha transmitida por una segunda antena y la comparación de la del retardo de tiempo entre las señales transmitidas y recibidas. La primera y la segunda antenas están conectadas a una unidad de temporizador/procesador. Una o más de la primera o segunda antenas se pueden mover a una posición o desplazamiento desconocidos que se van a medir, pero mantienen la comunicación con el temporizador/procesador a través de un enlace de comunicación que tiene un retardo de tiempo conocido o determinable, preferentemente estable. El enlace de comunicación puede ser habitualmente una línea de transmisión flexible, cable, fibra o guía de onda que mantiene una longitud eléctrica constante (retardo de tiempo) en presencia de movimiento relativo de los extremos del cable. El enlace de comunicación también puede incluir un enlace de RF, acústico u óptico medido dinámicamente. El temporizador/procesador contiene una base de tiempo para generar la señal transmitida y un temporizador de desplazamiento para medir el retardo de tiempo de la señal recibida. La señal recibida puede procesarse para determinar un tiempo preciso de llegada de la energía de la señal o borde de ataque que resuelva las ambigüedades del ancho de banda del ciclo de RF y la modulación y que permita una determinación positiva de la distancia mucho más corta que una única longitud de onda en la frecuencia del centro de operación.

La banda ancha se refiere a una señal que tiene un ancho de banda de modulación que tiene una longitud de onda correspondiente a través del medio de más de un ciclo a lo largo de la distancia entre las dos antenas. Por lo tanto, puede haber una ambigüedad potencial en cuanto a qué ciclo de la modulación se está recibiendo. Además, un ancho de banda de modulación limitado contribuye a la dificultad o incapacidad para determinar qué ciclo de la señal de RF se recibe cuando se determina el retardo de tiempo desde la sincronización de la señal transmitida, especialmente en presencia de superficies reflectantes. Según una o más variaciones del sistema actual, las ambigüedades del ciclo pueden superarse, permitiendo la resolución de la distancia a menos de una longitud de onda de la frecuencia central de RF a través del medio.

En una variación, el receptor y el temporizador de desplazamiento funcionan como un receptor de exploración. El receptor de exploración recibe en una pluralidad de tiempos de desplazamiento en un intervalo de tiempos de desplazamiento y genera un conjunto de datos de exploración que representa la señal recibida en el intervalo de tiempos de desplazamiento. El tiempo de desplazamiento se mide desde el tiempo de la señal transmitida. Este conjunto de datos de exploración puede ser analizado en busca de características relacionadas con el tiempo de precisión y el rechazo de señales de múltiples rutas. El conjunto de datos de exploración puede ser analizado en busca de características que permitan la identificación de un tiempo de retorno de señal más temprano, aislando el borde de ataque de un pulso de señal. Además, las características de absorción de frecuencia selectiva de la ruta de propagación, si se conocen o se miden, se pueden usar para mejorar la precisión del tiempo de llegada estimado de

la señal en canales complejos de RF fuera del alcance.

5 El presente sistema se refiere a una técnica de radio mediante la medición de la diferencia entre el tiempo de transmisión y el tiempo de llegada de una señal de RF transmitida y recibida entre las antenas conectadas al mismo transceptor base. En diversas realizaciones, la señal de RF puede ser de pulso de banda ultra ancha (UWB) o señales de onda continua moduladas en frecuencia. El sistema podría utilizar otra fenomenología como base, tales como la señalización óptica o acústica. El sistema permite una medición precisa de la diferencia de tiempo entre la transmisión y la recepción medida por un único conjunto central de electrónica de transceptor.

10 En la realización UWB, el transceptor de base transmite un pulso de RF que se propaga a través de un cable corto o largo a la antena de transmisión. El pulso transmitido puede propagarse entonces a través de cualquier material translúcido de RF (tal como el aire, la madera, tableros de fibra, plástico, epoxi, etc.) en el entorno. El entorno puede estar limpio o puede incluir reflectores o absorbentes que produzcan una señal recibida con una amplitud desconocida en la presencia de saturación por rutas múltiples. La señal de RF es capturada por un elemento de antena de recepción que puede moverse con el dispositivo bajo prueba o puede colocarse manualmente en una ubicación y promediarse para una investigación de distancia estática. La antena de recepción está conectada a un cable que propaga la energía de RF al transceptor que emana. El transceptor mide el tiempo de llegada de la señal recibida en relación con el tiempo de transmisión en presencia de la atenuación desconocida, a menudo selectiva en frecuencia, y de saturación de rutas múltiples. La diferencia de tiempo entre la transmisión y la recepción, menos las longitudes de los cables (que se encuentran a través de la calibración), multiplicada por la velocidad de RF a través del medio (a menudo se supone constante) constituye la medición de la distancia.

20 En una variación, el receptor es un receptor de exploración basado en correlación configurado para determinar un borde de ataque de la señal de banda ancha recibida para determinar la diferencia de tiempo.

25 En una variación, el procesamiento del borde de ataque está configurado para rechazar las señales reflejadas de rutas múltiples que llegan con retardo por un tiempo debido a su mayor longitud de ruta (en relación con la ruta directa) a través del canal de RF. Por lo tanto, las reflexiones de objetos cercanos en el entorno con una longitud de ruta mayor que la λ longitud de onda más larga que la ruta principal pueden ignorarse y no tendrán efecto en las mediciones de distancia; mientras que, las señales de banda estrecha probablemente recibirían perturbaciones de estas señales. Por ejemplo, la UWB habitual con un ancho de banda de 2 GHz tiene una diferencia de longitud de ruta de aproximadamente 4,5 cm.

Diversas realizaciones y características pueden incluir, pero no se limitan a:

- 30 1) Una primera antena recibe mientras la segunda antena transmite, es decir, las funciones de transmisión y recepción pueden invertirse para una geometría dada.
 2) Se puede utilizar la transmisión y recepción óptica o acústica en lugar de la transmisión y recepción de RF.
 3) La modulación de RF de banda estrecha (es decir, la modulación de frecuencia, fase o amplitud) se puede utilizar como evento de transmisión y recepción de sincronización. El ancho de banda más estrecho, sin embargo,
 35 puede alargar el tiempo y los errores de distancia.
 4) La transmisión y recepción de Onda Continua Modulada en Frecuencia (FMCW, por sus siglas en inglés) y "chirrido" se puede usar en lugar de la transmisión por impulso.

40 En variaciones adicionales, el sistema puede incluir una antena de transmisión y múltiples antenas de recepción simultáneas en diversas ubicaciones para la localización de la trilateración. En otra variación de la arquitectura de localización, una antena de recepción y múltiples fuentes de transmisión separadas por tiempo o código se utilizan para la localización de trilateración.

En una variación, se proporciona un sistema de monitoreo de alcance, comprendiendo el sistema:

- 45 un primer elemento de antena que se ubicará en el extremo móvil de un dispositivo bajo prueba;
 un segundo elemento de antena que se ubicará hacia el extremo estático del dispositivo bajo prueba, el primer elemento de antena que se separará del segundo elemento de antena; y
 un transceptor,
 en el que el transceptor es operable para calcular el alcance/la distancia entre la ubicación de la primera antena y la ubicación de la segunda antena basándose en el tiempo de vuelo de una señal transmitida entre la primera y la segunda antena,
 50 en el que el transmisor para la primera antena debe ubicarse cerca del punto de referencia estático.

Dado que el controlador de la antena o el transmisor pueden ubicarse separados de la primera antena, esto elimina la necesidad de proporcionar circuitos relativamente complicados hacia el lado dinámico del sistema de medición. El tiempo de vuelo es el vuelo de ida, es decir, el tiempo para que una señal se propague a través del canal de RF medido desde la primera antena y luego se reciba en la segunda antena.

- El transmisor se puede acoplar a la primera antena mediante un primer enlace de comunicaciones (preferentemente cableado), y el receptor se acopla a la segunda antena mediante un segundo enlace de comunicaciones, en el que el retardo de propagación del primer enlace de comunicaciones y el retardo de propagación del segundo enlace de comunicaciones se conocen a través de una calibración previa, o se ignoran si se desea el tiempo delta/distancia desde la medición a la medición. El transceptor es operable para medir el tiempo T entre el envío de la señal desde el transmisor y la llegada de la señal al receptor, y/o el tiempo delta dT de una medición a la siguiente.
- 5
- Dado que las rutas reflejadas (señales de ruta múltiple) son más largas que una ruta directa, la medición precisa del tiempo de llegada (TOA) de la primera, la señal de energía más directa recibida, restando la polarización estática debida al enlace cableado y multiplicada por la velocidad de propagación, produce una medida precisa de la distancia.
- 10
- El transceptor puede ser operable además para restar el retardo de propagación del primer enlace de comunicaciones y el retardo de propagación del segundo enlace de comunicaciones del tiempo medido T para encontrar el tiempo de vuelo de la señal transmitida entre la primera y la segunda antenas.
- El transceptor puede ser operable además para multiplicar el tiempo de vuelo de la señal transmitida entre la primera y la segunda antenas por la velocidad de la señal transmitida para determinar la distancia entre la primera antena y la segunda antena.
- 15
- El transmisor puede estar ubicado adyacente o cerca de la segunda antena, para minimizar la duración de la transmisión desde la generación inicial de la señal en el controlador de la antena hasta la recepción final de la señal transmitida por la primera antena.
- 20
- El transmisor y/o el receptor pueden estar separados de la ubicación de la segunda antena, para minimizar el número de componentes y los requisitos de potencia del sistema de monitoreo de alcance para posicionarse en el lado dinámico de la medición de distancia.
- El sistema también puede ser beneficioso cuando ambos lados de un enlace flexible se mueven y la distancia dinámica precisa entre los puntos de extremo indica la flexión del miembro.
- 25
- El primer y/o el segundo enlace de comunicaciones puede comprender un enlace de comunicaciones físico, por ejemplo, una línea de transmisión o un cable, tal como un cable de RF, un cable coaxial, una guía de ondas, una línea de banda, una fibra óptica u otro enlace de comunicaciones físico.
- 30
- El primer cable y/o el segundo cable u otro enlace de comunicaciones pueden adaptarse para mantener la longitud fija en presencia del movimiento relativo de dicha primera ubicación de antena con respecto a dicha segunda ubicación de antena. El cable flexible puede tener holgura, flexiones, curvas, bobinas u otras técnicas para permitir el movimiento sin cambiar la longitud y, por lo tanto, el tiempo de propagación de RF funcional, del cable.
- En una variación, la señal que se va a transmitir entre la primera y la segunda antenas puede comprender una señal de pulso y el transceptor puede enviar múltiples pulsos para formar una señal recibida de mayor fidelidad a través de la integración de la señal coherente.
- 35
- En una variación, los componentes del receptor, el transmisor, el procesamiento de la señal y el control pueden proporcionarse como parte de un único módulo, por ejemplo, un módulo transceptor, un módulo transmisor-receptor. De manera adicional o de manera alternativa, el procesador de señales y el controlador pueden integrarse con el receptor y/o el transmisor, o pueden proporcionarse como parte de un módulo separado de procesamiento y control de señales.
- 40
- La precisión de la medición de la distancia suele verse afectada por la precisión de la sincronización entre el transmisor y el receptor. Al proporcionar una única señal de reloj para sincronizar el transmisor y el receptor, aumenta la precisión de la medición del tiempo entre el evento de disparo que inicia la señal que se va a transmitir por la primera antena y el evento medido de la llegada de la señal al receptor. Esto conduce a una mayor precisión de la medición de alcance entre la primera y la segunda antena. Preferentemente, el transmisor y el receptor se sincronizan utilizando un único cristal de reloj y un circuito de activación de un único evento que puede reducir en gran medida el efecto de la fluctuación del reloj en el sistema.
- 45
- El reloj único puede ser proporcionado por cualquier módulo o circuito adecuado dispuesto para generar un disparador de evento preciso sincronizado tanto para la generación de la señal de transmisión como para el muestreo de la señal de recepción, por ejemplo, un módulo transmisor, un módulo receptor, un módulo transceptor, un módulo transmisor-receptor, un módulo controlador, un generador de reloj dedicado, etc.
- 50
- En una configuración alternativa, las ubicaciones del receptor y el transmisor pueden invertirse, es decir, de tal manera que la segunda antena ubicada cerca del lado estático del sistema dinámico esté acoplada al transmisor para transmitir

la señal a la primera antena ubicada hacia el lado dinámico, que luego se envía a través del primer enlace de comunicaciones al receptor. La distancia entre la primera y la segunda antena se puede calcular entonces en función del tiempo de vuelo de la señal transmitida desde la segunda antena a la primera antena. En un aspecto adicional, el sistema puede configurarse de tal manera que el transmisor se proporcione como un módulo transmisor/receptor conmutable, en el que la antena asociada puede configurarse para transmitir o recibir en función de la selección del módulo.

También se proporciona un método para operar un sistema de monitoreo de alcance como se describe para medir la distancia entre dos puntos de un dispositivo bajo prueba.

Como información, se proporciona un método para monitoreo de alcance, comprendiendo el método las etapas siguientes:

proporcionar una primera antena hacia la primera ubicación en un dispositivo bajo prueba;
 proporcionar una segunda antena hacia la segunda ubicación en el dispositivo bajo prueba, separándose la primera antena de la segunda antena;
 proporcionar un transmisor o un receptor o un transmisor-receptor o un transceptor asociado con la primera antena;
 transmitir una señal entre la primera antena y la segunda antena; y
 calcular el alcance entre la ubicación de la primera antena y la ubicación de la segunda antena en función del tiempo de vuelo de la señal transmitida entre la primera y la segunda antena,
 en el que el transmisor o receptor o transmisor-receptor o transceptor asociado con la primera antena está separado de la primera antena, preferentemente ubicado hacia la primera ubicación en el dispositivo bajo prueba, preferentemente ubicado en el lado estático con un volumen y una fuente de energía amplios.

El transmisor está, preferentemente, conectado a través del canal de comunicación cableado más largo para permitir que el transmisor utilice una potencia más alta para superar la pérdida de cable, permitiendo una potencia de transmisión regulada maximizada en la antena de transmisión.

El lado de la transmisión también se puede elegir para que se incruste dentro del dispositivo bajo prueba para reducir las emisiones de espacio libre del sistema de medición.

El método puede comprender además las etapas siguientes:

proporcionar un transmisor respectivo o receptor o transmisor-receptor o transceptor asociado con la segunda antena, y
 sincronizar el transmisor respectivo o receptor o transmisor-receptor o transceptor asociado con la primera y la segunda antena respectivas a un único reloj.

En una variación adicional, el método puede comprender además la etapa siguiente:
 aplicar una ventana de exploración del receptor de exploración para monitorear la recepción de la señal.

El uso de una ventana de exploración permite reducir el tiempo empleado en adquirir las señales recibidas. Por consiguiente, puede haber una reducción en la cantidad de datos que se van a procesar para el sistema de monitoreo de alcance, resultando en un sistema de monitoreo de alcance más rápido y/o más preciso. Tal ventana de exploración puede ser aplicada por un controlador del sistema de monitoreo de alcance de un dispositivo como se ha descrito anteriormente, o puede ser aplicada como parte de un módulo de procesamiento de señales separado.

La ventana de exploración puede tener una duración y resolución de muestreo configurables. La ventana de exploración se puede aplicar a una hora de inicio configurable después del evento de activación de transmisión. El tiempo de inicio y el tiempo de parada de la ventana de exploración pueden configurarse en función del retardo de propagación de un enlace de comunicaciones y en función del conocimiento de la dinámica máxima del retardo de energía de la ruta directa en función del dispositivo bajo prueba o la ruta medida.

La resolución de tiempo de la ventana de exploración muestreada directamente se puede configurar para maximizar el tiempo de señal de la precisión de la medición de vuelo mientras se minimiza la duración requerida para cada medición de distancia. La pequeña duración y las rápidas tasas de actualización son particularmente importantes en las aplicaciones de control dinámico de procesos.

En un aspecto adicional, múltiples antenas a lo largo del dispositivo bajo prueba, combinadas con múltiples ventanas de exploración, demoraron el tiempo para rodear la señal de retorno y con un amplio alcance para cubrir toda la extensión de la dinámica de la distancia, permitirán mediciones de distancia simultáneas con una única señal de transmisión.

Calibración

ES 2 727 518 T3

Para algunas aplicaciones, puede que no sea necesario medir el retardo total. Puede ser suficiente medir solo el cambio relativo en el retardo entre las antenas. Por ejemplo, un sistema de control podría operar exitosamente solo asegurando que el tiempo de retardo permanezca fijo. En otras palabras, el sistema de control puede proporcionar un mecanismo de control de retroalimentación que funcione en respuesta a la medición del retardo de tiempo. Si el tiempo de retardo aumenta, el control efectúa algunos cambios que reducen el retardo. Si el retardo disminuye, entonces el control efectúa el cambio opuesto.

Alternativamente, puede desearse conocer la distancia absoluta entre las antenas. En tal caso, puede ser beneficioso saber no solo el tiempo de desplazamiento de una antena a la otra, sino también los retardos restantes del sistema. Por ejemplo, algunos de los retardos del sistema pueden incluir, pero no se limitan a:

- 5
- 10
 - el retardo desde el momento en que la señal de banda ancha abandona el transistor de salida final y se desplaza al pasador de salida en el paquete integrado,
 - el retardo desde el pin a través de los trazados de la placa de circuito impreso, a través de los filtros, otros componentes hasta la conexión de la placa de circuito impreso al enlace de comunicaciones,
 - el retardo desde un extremo del enlace de comunicaciones a la base de la antena,
- 15
 - el retardo desde la base de la antena hasta el centro de fase de la antena,
 - la medición objetiva del retardo desde el centro de fase de la antena de transmisión al centro de fase de la antena de recepción,
 - el retardo desde el centro de fase de la antena de percepción para recibir el enlace de comunicaciones,
 - enlace de comunicaciones de recepción para recibir la placa de circuito impreso
- 20
 - otros retardos electrónicos y
 - retardos en el *software*.

Muchos de los retardos son tan pequeños que son irrelevantes. Algunas pueden ser fijas. Algunas varían con el tiempo o la temperatura. La precisión con la que se conocen estas señales determina la precisión general de la antena resultante a la medición del retardo de tiempo de la antena. Los sistemas basados en la acústica también deben compensar los cambios en la velocidad del sonido debido a la temperatura y la humedad.

La precisión requerida para tener un sistema razonablemente aceptable puede variar con la aplicación. Algunos sistemas pueden tener éxito al conocer la magnitud de los retardos. Esto se podría lograr a través del análisis o con una calibración muy simple de una vez contra una distancia conocida. Otras aplicaciones pueden requerir que se conozca el retardo con una alta precisión que requiere procedimientos de calibración cada vez más elaborados, incluida la calibración continua en línea.

Por ejemplo, un método de calibración continua puede involucrar el uso de transceptores tanto para antenas de transmisión como para antenas de recepción en combinación con combinadores. Por ejemplo, una señal de transmisión podría salir del transmisor a través de un circulador tal que la salida del circulador accionaría el enlace de comunicaciones y cualquier reflexión de desajustes de impedancia en el sistema volvería al circulador y al receptor local. Este receptor local podría entonces medir el desplazamiento de tiempo de las reflexiones de retorno y, por lo tanto, medir el retardo de tiempo desde la transmisión del pulso de transmisión y la recepción de una reflexión desde la base de la antena de transmisión. Se podría utilizar un enfoque análogo en la antena de recepción.

Como información, se proporciona un método para calibrar un sistema de monitoreo de alcance para un material o dispositivo, comprendiendo el sistema:

- 40
 - proporcionar una antena en una primera ubicación en un dispositivo;
 - proporcionar un enlace de comunicaciones (habitualmente, una línea de transmisión de RF) que se extiende desde la primera ubicación a una segunda ubicación;
 - enviar una señal para ser transmitida por la antena a lo largo del enlace de comunicaciones desde la segunda ubicación a la antena en la primera ubicación;
- 45
 - en la segunda ubicación, recibir la señal de la antena a lo largo del enlace de comunicaciones debido a la reflexión parcial de la energía en la antena en la primera ubicación; y
 - la calibrar el sistema de monitoreo de alcance en función de la señal recibida en la segunda ubicación.

En una variación, la etapa de calibración puede comprender determinar un retardo de propagación del enlace de comunicaciones para una señal enviada a lo largo del enlace de comunicaciones. La calibración se puede realizar para tener en cuenta los efectos de flexión y/o los efectos de la temperatura en un enlace de comunicaciones provisto dentro de una construcción dinámica.

- 5 En una variación, el método de calibración se puede realizar como un único proceso de calibración inicial. De manera adicional o de manera alternativa, el método de calibración se puede realizar como parte de un proceso de monitoreo de alcance continuo, por ejemplo, como parte de una técnica de recalibración dinámica realizada durante la operación del dispositivo.

- 10 A menudo, en los procesos de control de retroalimentación dinámica, el cambio en la distancia entre las mediciones es necesario en lugar de la distancia absoluta. Estas aplicaciones habitualmente no requieren calibración absoluta.

En una variación, la calibración puede requerir una evaluación de la atenuación selectiva de la frecuencia de la señal a través del dispositivo bajo prueba para tener en cuenta las variaciones de fabricación.

En otra variación, la calibración puede requerir la evaluación de una ruta directa de RF cambiante y un canal reflectante asociado con la propagación a través de un material o estructura dinámica flexible.

- 15 Este método admite la evaluación en una serie de ubicaciones dinámicas en cualquier punto a lo largo de la longitud del dispositivo, o ubicaciones geoméricamente diversas en apoyo de un sistema de localización.

Control y detección de palas de turbina eólica

En una variación, se proporciona un sistema de monitoreo de alcance para una pala de turbina eólica, comprendiendo el sistema:

- 20 una primera antena que se ubicará hacia el extremo de la punta de una pala de turbina eólica (que tiene un transmisor asociado);
una segunda antena para ubicarse hacia el extremo de la raíz de una pala de turbina eólica (que tiene un receptor asociado), estando dicha primera antena separada de dicha segunda antena; y
un controlador,
25 en el que dicho controlador es operable para calcular el alcance/la distancia entre la ubicación de la primera antena y la ubicación de la segunda antena en función del tiempo de vuelo de una señal transmitida entre dicha primera y segunda antenas,
en el que el transmisor para dicha primera antena debe ubicarse hacia el extremo de la raíz de la pala de la turbina eólica.
- 30 También se proporciona un método para operar un sistema de monitoreo de alcance como se describe para medir la distancia entre múltiples puntos en una pala de turbina eólica.

En particular, se proporciona un método para el monitoreo del alcance de las palas de las turbinas eólicas que comprende las etapas siguientes:

- 35 proporcionar una primera antena en el extremo de la raíz de una pala de turbina eólica;
proporcionar múltiples antenas en diferentes posiciones a lo largo de la turbina eólica;
conectar las múltiples antenas a un único enlace de comunicaciones compartido;
proporcionar un receptor en la primera antena y proporcionar un transmisor para el enlace de comunicaciones compartido; y
40 transmitir la señal de transmisión desde el transmisor al enlace de comunicaciones a cada una de las múltiples antenas al receptor sincronizado tal que el receptor pueda calcular el retardo de tiempo relativo o absoluto entre cada antena de transmisión y la antena recibida. Como el controlador de la antena o el transmisor pueden ubicarse separados de la primera antena (por ejemplo, dentro de la mitad de la raíz de la hoja), esto elimina la necesidad de que se proporcionen circuitos relativamente complicados hacia el extremo de la punta de la pala en la ubicación de la primera antena, simplificando de este modo el circuito de protección contra rayos requerido. Además, esto
45 elimina el problema de proporcionar una fuente de alimentación remota en una ubicación externa de una pala de turbina eólica para la transmisión de una señal desde la primera antena.
El tiempo de vuelo se entenderá como el vuelo de ida, es decir, el tiempo para que se transmita una señal desde una primera antena que se va a recibir a una segunda antena.

- 50 Preferentemente, el transmisor y/o el receptor están separados de la ubicación de la segunda antena, por ejemplo, dentro de un cubo de turbina eólica o góndola, para minimizar el número de componentes del sistema de monitoreo de alcance que se posicionará dentro del interior de la pala de la turbina eólica.

En una configuración alternativa, las ubicaciones del receptor y el transmisor pueden invertirse, es decir, de tal manera que la segunda antena ubicada cerca del extremo de la raíz de la pala, es decir, dentro de la mitad de la raíz de la pala, esté acoplada al transmisor para transmitir la señal a la primera antena ubicada hacia el extremo de la punta de la pala, es decir, dentro de la mitad de la punta de la pala, que luego se envía a través del primer enlace de comunicaciones al receptor. La distancia entre la primera y la segunda antena se puede calcular entonces en función del tiempo de vuelo de la señal transmitida desde la segunda antena a la primera antena. En un aspecto adicional, el sistema puede configurarse de tal manera que el transmisor se proporcione como un módulo transmisor/receptor conmutable, en el que la antena asociada puede configurarse para transmitir o recibir en función de la selección del módulo.

10 También se proporciona una pala de turbina eólica que tiene un sistema de alcance como se describe. Además, se proporciona una turbina eólica que tiene al menos una de tales palas de turbina eólica.

También se proporciona un método para operar un sistema de monitoreo de alcance como se describe para medir la distancia entre dos puntos de una pala de turbina eólica.

15 En una variación que utiliza un receptor de exploración, la frecuencia de muestreo del receptor de exploración puede permitir el decaimiento de las rutas múltiples entre cada muestra, es decir, el intervalo de tiempo de la muestra puede ser mayor que el tiempo de reflexión para las características ambientales cercanas. Por ejemplo, un sistema de palas eólicas con una antena de transmisión en la punta y una antena de recepción en la raíz de una pala puede recibir un reflejo de la torre. El intervalo de tiempo de la muestra puede permitir que la reflexión de la torre se desintegre antes de comenzar otra muestra. Además, cada muestra del receptor de exploración, por ejemplo, puede comprender la integración de múltiples pulsos de una señal de banda ancha de impulso, o chips múltiples que forman un símbolo que utiliza otras técnicas de banda ancha.

20 En particular, se proporciona un método para monitorear el alcance de las palas de las turbinas eólicas, comprendiendo el método las etapas siguientes:

25 proporcionar una primera antena hacia el extremo de la punta de una pala de turbina eólica; proporcionar una segunda antena hacia el extremo de la raíz de la pala de la turbina eólica, estando dicha primera antena separada de dicha segunda antena; proporcionar un transmisor o un receptor o un transmisor-receptor o un transceptor asociado con dicha primera antena;

30 transmitir una señal entre dicha primera antena y dicha segunda antena; y calcular el alcance entre la ubicación de la primera antena y la ubicación de la segunda antena en función del tiempo de vuelo de la señal transmitida entre dichas primera y segunda antenas, en el que dicho transmisor o receptor o transmisor-receptor o transceptor asociado con dicha primera antena está separado de dicha primera antena, preferentemente ubicada hacia el extremo de la raíz de la pala de turbina eólica,

35 preferentemente ubicada en el cubo de una turbina eólica.

Preferentemente, el método comprende, además, las etapas de:

40 proporcionar un respectivo transmisor o receptor o transmisor-receptor o transceptor asociado con dicha segunda antena; y sincronizar el transmisor respectivo o receptor o transmisor-receptor o transceptor asociado con la primera y la segunda antena respectivas a un único reloj.

En un aspecto adicional, se proporciona un método para calibrar un sistema de monitoreo de alcance para una pala de turbina eólica, comprendiendo el sistema:

45 proporcionar una antena en una primera ubicación en una pala de turbina eólica; proporcionar un enlace de comunicaciones que se extiende desde dicha primera ubicación a una segunda ubicación; enviar una señal para ser transmitida por dicha antena a lo largo de dicho enlace de comunicaciones desde dicha segunda ubicación a la antena en dicha primera ubicación; en dicha segunda ubicación, recibir un reflejo de dicha señal desde dicha antena a lo largo de dicho enlace de comunicaciones; y

50 calibrar dicho sistema de monitoreo de alcance en función de la señal reflejada recibida en dicha segunda ubicación.

Se entenderá que la etapa de calibración puede comprender determinar un retardo de propagación de dicho enlace de comunicaciones para una señal enviada a lo largo de dicho enlace de comunicaciones. La calibración puede realizarse para tener en cuenta los efectos de flexión y/o los efectos de la temperatura en un enlace de comunicaciones

provisto dentro de una pala de turbina eólica. Preferentemente, la señal es una simple señal de pulso.

Se entenderá que el método de calibración se puede realizar como un proceso de calibración único, por ejemplo, durante la instalación de un sistema de monitoreo de alcance en una turbina eólica. De manera adicional o de manera alternativa, el método de calibración se puede realizar como parte de un proceso de monitoreo de alcance continuo, por ejemplo, como parte de una técnica de recalibración dinámica realizada durante la operación de una turbina eólica. Por ejemplo, las etapas de tal método de recalibración se pueden realizar como parte de un método de monitoreo de alcance como se ha descrito anteriormente, en el que las etapas para la recalibración del sistema de monitoreo de alcance se llevan a cabo después de un número definido de mediciones de alcance, por ejemplo, por cada 10, 20, 100, 1000, etc. casos de mediciones de monitoreo de alcance, se realiza un procedimiento de recalibración. La calibración tiene lugar, normalmente, cuando el sistema es estático y la distancia puede estimarse a través de otros métodos.

La calibración dinámica se puede realizar si el dispositivo bajo prueba, por su naturaleza, tiene un estado de reposo o una distancia promedio/relajada. Se puede utilizar un promedio en funcionamiento y/o la mediana de la medida del tiempo de vuelo a través del sistema de medición como una medición de calibración dinámica.

Si el sistema de monitoreo/control tiene un medio alternativo para determinar la inactividad, entonces podría activar el sistema de medición de RF para que se recalibre durante estos modos. Por ejemplo, el sistema de control de pala eólica monitorea activamente la velocidad de rotación del molino de viento. Este sistema normalmente ajusta el paso de la pala para mantener la velocidad de rotación en un punto de ajuste controlado. A menudo, se utiliza un modelo de flexión para estimar la flexión de la pala de viento en función de la velocidad y la inclinación. Este sistema de monitoreo podría proporcionar una señal de evento de calibración, así como una distancia estimada entre los puntos de medición para permitir la recalibración en línea.

Se entenderá que la primera ubicación puede ser cualquier punto a lo largo de la longitud de una pala de la turbina eólica, por ejemplo, hacia un extremo de la punta de la pala, hacia un extremo de la raíz de la pala. Se entenderá que la segunda ubicación puede proporcionarse en el extremo de la raíz de una pala de turbina eólica, en un cubo de turbina eólica, en una góndola de turbina eólica.

Además, cualquier número de antenas en diversas longitudes a lo largo de la pala se puede usar como puntos de medición múltiples a lo largo de la pala del viento para la estimación dinámica de la flexión compleja.

También se describe un método para detectar un valor de elevación para una pala de turbina eólica que comprende:

medir un tiempo de vuelo de barlovento para una señal transmitida entre un primer par de antenas, al menos una del primer par de antenas colocada en un lado de barlovento (a alta presión) de dicha pala de viento, respondiendo dicho tiempo de vuelo de barlovento a una flexión de la pala de viento debido a la carga aerodinámica; medir un tiempo de vuelo a sotavento (a baja presión) para una señal transmitida entre un segundo par de antenas, al menos una del segundo par de antenas colocada en un lado de sotavento de la pala de viento; y determinar el valor de sustentación basándose en la comparación del tiempo de vuelo de barlovento con el tiempo de vuelo de sotavento.

Breve descripción de los dibujos

La presente invención se describe con referencia a los dibujos adjuntos. En los dibujos, los números de referencia similares indican elementos idénticos o funcionalmente similares. Además, el/los dígito(s) más a la izquierda de un número de referencia identifica el dibujo en el que aparece por primera vez el número de referencia.

La figura 1 es un diagrama de bloques ejemplar de un sistema de medición de distancia según la presente divulgación.

La figura 2 es un diagrama de tiempo y una forma de onda de exploración ejemplares que ilustran varias características de la señal recibida en el sistema de medición de distancia.

La figura 3 muestra una exploración ejemplar junto con las características de procesamiento para identificar el tiempo de la señal del borde de ataque de la llegada.

La figura 4 ilustra un diagrama de bloques del sistema ejemplar que incluye el control de tiempo y exploración de la parte del receptor de exploración del transceptor con componentes de procesador y controlador de señales separados.

La figura 5A y la figura 5B ilustran un sistema ejemplar de medición de desviación de la pala de viento según la presente divulgación.

La figura 6A muestra un diagrama de bloques del sistema ejemplar de la figura 5A.

La figura 6B representa una función ejemplar del retardo de elevación frente a comparación como se mide en la figura 6A.

La figura 7 ilustra un sensor de posición ejemplar acoplado a un accionador 702 lineal.

5 La figura 8 ilustra una aplicación de investigación de interior ejemplar.

La figura 9 ilustra un sensor de distancia ejemplar configurado para la localización del efector.

La figura 10 ilustra una aplicación médica ejemplar.

La figura 11 ilustra una operación de martillo ejemplar accionado eléctricamente. En este ejemplo, se miden simultáneamente tres distancias que permiten la localización multidimensional.

10 La figura 12 representa una aplicación de medición de flexión de un palo de golf ejemplar.

La figura 13 muestra el sistema de medición de palos de golf de la figura 12 con mayor detalle.

La figura 14 representa un gráfico de la distancia desde el asa hasta el palo frente al tiempo para la aplicación de la figura 12.

La figura 15 representa un gráfico de la aceleración en el tiempo.

15 La figura 16 ilustra una variación ejemplar que utiliza dos antenas de transmisión y una única antena de recepción.

La figura 17 ilustra un sistema ejemplar que usa dos transceptores combinados en un único cable y alimentados a dos antenas de transmisión.

La figura 18 ilustra un sistema ejemplar adicional que utiliza dos antenas de recepción y dos antenas de transmisión.

La figura 19 ilustra un sistema ejemplar adicional que utiliza dos antenas de recepción y dos antenas de transmisión.

20 La figura 20 ilustra un sistema ejemplar que utiliza una reflexión de alimentación de antena para calibrar los retardos del sistema.

Fundamentos de UWB

La siguiente es una descripción general de la radio de banda ultra ancha (UWB) como ayuda para comprender los beneficios de la presente invención.

25 La banda ultra ancha es una tecnología de RF emergente con importantes beneficios en aplicaciones de comunicaciones, radar, posicionamiento y detección. En 2002, la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) reconoció estos beneficios potenciales para el consumidor y emitió la primera reglamentación que permite la venta comercial y el uso de productos basados en la tecnología de banda ultra ancha en los Estados Unidos de América. La
 30 FCC adoptó una definición de banda ultra ancha para ser una señal que ocupa un ancho de banda fraccional de al menos 0,25, o 400 MHz de ancho de banda en cualquier frecuencia central. El ancho de banda fraccional se define más precisamente como:

$$FBW = \frac{2(f_h - f_l)}{f_h + f_l} ,$$

donde FBW es el ancho de banda fraccional, f_h es el borde de la banda superior y f_l es el borde de la banda inferior, definiéndose los bordes de la banda como el punto descendente de 10 dB en la densidad espectral.

35 Hay muchos enfoques para UWB que incluyen impulsos radioeléctricos, CDMA de secuencia directa, radio de ruido de banda ultra ancha, modulación directa de datos de velocidad ultra alta y otros métodos. La presente divulgación incluye radio de pulso de banda ultra ancha (pulso más largo que un impulso, pero más corto que la banda estrecha)

y puede tener una aplicación considerable allí, pero puede tener un beneficio potencial y una aplicación más allá de la radio de impulso a otras formas de banda ultra ancha y más allá de la banda ultra ancha a sistemas de radio convencionales también. No obstante, es útil describir variaciones ejemplares en relación con la radio de impulso para comprender los conceptos básicos y luego expandir la descripción a las extensiones de la tecnología.

5 La radio de impulso se ha descrito en una serie de patentes, incluidas las patentes estadounidenses N.º 4,641,317 (expedida el 3 de febrero de 1987), 4,813,057 (expedida el 14 de marzo de 1989), 4,979,186 (expedida el 18 de diciembre de 1990) y 5,363,108 (expedida el 8 de noviembre de 1994) a Larry W. Fullerton. Una segunda generación de patentes de radio por impulso incluye las patentes estadounidenses N.º 5,677,927 (expedida el 14 de octubre de 1997), 5,687,169 (expedida el 11 de noviembre de 1997), 5,764,696 (expedida el martes 9 de junio de 1998), 5,832,035
10 (expedida el 3 de noviembre de 1998), y 5,969,663 (expedida el 19 de octubre de 1999) a Fullerton et al., y 5,812,081 (expedida el 22 de septiembre de 1998) y 5,952,956 (expedida el 14 de septiembre de 1999) a Fullerton.

Los usos de los sistemas de radio por impulso se describen en la patente estadounidense N.º 6,177,903 (expedida el 23 de enero de 2001) titulada, "System and Method for Intrusion Detection using a Time Domain Radar Array", la patente estadounidense N.º 6,218,979 (expedida el 17 de abril de 2001) titulada "Wide Area Time Domain Radar
15 Array", y la patente estadounidense N.º 6,614,384 (expedida el 2 de septiembre de 2003).

Se pueden encontrar detalles adicionales sobre los circuitos pulsadores en la solicitud de patente estadounidense 09/537,692 titulada: "Apparatus, System and Method for Flip Modulation in an Impulse Radio Communications System", presentada el miércoles 29 de marzo de 2000, por Fullerton et al., y la solicitud 10/712,271 titulada: "A Bi-Phase Modulator for Ultra Wideband Signals", presentada el 30 de septiembre de 2004, por Fitzpatrick et al.

20 Se pueden encontrar detalles adicionales sobre los circuitos del receptor en la patente estadounidense 6,421,389 titulada "Baseband Signal Converter Device for a Wideband Impulse Radio Receiver", expedida el 16 de julio de 2002 a Jett et al. Otras técnicas de ahorro de energía UWB se pueden encontrar en la patente estadounidense 6,492,904 titulada "Method and system for coordinating timing among ultrawideband transmissions" expedida el 10 de diciembre de 2002 a Richards, y la patente estadounidense 6,571,089 titulada: "Method and apparatus for moderating
25 interference while effecting impulse radio wireless control of equipment", expedida el 27 de mayo de 2003 a Richards et al. y la solicitud de patente estadounidense titulada: "System And Method For Processing Signals In UWB Communications", N.º de serie 10/712,269, presentada el 14 de noviembre de 2003 por Brethour et al.

La coordinación de tiempo entre las transmisiones UWB se describe además en la patente estadounidense 6,492,904, titulada: "Method and System for Coordinating Timing Among Ultrawideband Transmissions", expedida el 10 de
30 diciembre de 2002 a Richards. Los sistemas de seguridad que utilizan la sincronización se describen más detalladamente en la patente estadounidense 6,614,384, titulada: "System and Method for Detecting an Intruder Using Impulse Radio Technology", expedida el 2 de septiembre de 2003 a Hall et al. y la patente estadounidense 6,177,903, titulada: "System and Method for Intrusion Detection Using a Time Domain Radar Array", expedida el 23 de enero de 2001 a Fullerton et al. La ubicación de la posición del objeto se explica con más detalle en la patente estadounidense 6,300,903, titulada: "System and Method for Person or Object Position Location Utilizing Impulse Radio", expedida el 9 de octubre de 2001, a Richards et al. La determinación de la posición se explica con más detalle en la patente estadounidense 6,133,876, titulada: "System and Method for Position Determination by Impulse Radio", expedida el 17 de octubre de 2000 a Fullerton et al. El control funcional basado en la información de posición se describe más detalladamente en la solicitud de patente estadounidense N.º de serie 09/511,991, titulada "System and Method for
40 Information Assimilation and Functionality Control Based on Positioning Information Obtained by Impulse Radio Techniques", presentada el 24 de febrero de 2000 por Taylor et al. Las técnicas de codificación de retardos se describen más detalladamente en la solicitud de patente estadounidense N.º de serie 09/878.923, titulada: "System and Method for Applying Delay Codes to Pulse Train Signals", presentada el 13 de junio de 2001 por Roberts y en la patente estadounidense 6,878,730 titulada "Method and apparatus for applying codes having predefined properties", emitido el 7 de septiembre de 2004 a Richards et al.
45

La medición de la distancia se describe con más detalle en la patente estadounidense 6,133,876 titulada: "System and Method for Position Determination By Impulse Radio", expedida el 17 de octubre de 2000 a Fullerton et al. y 6,295,019 titulada: "System and Method for Distance Measurement by Inphase and Quadrature Signals in a Radio System" expedida el 25 de septiembre de 2001 a Richards et al., y la patente estadounidense 6,700,538 titulada "System and method for estimating separation distance between impulse radios using impulse signal amplitude", expedida el 2 de
50 marzo de 2004 a Richards.

Las comunicaciones dúplex completas se describen más detalladamente en la patente estadounidense 5,687,169, titulada "Full 30 Duplex Ultrawide- Band Communication System and Method", expedida el 11 de noviembre de 1997 a Fullerton.

55 Los generadores de sincronización de precisión se describen más detalladamente en la patente estadounidense 6,304,623 titulada "Precision Timing Generator System and Method", expedida el 16 de octubre de 2001 a Richards et al., y la patente estadounidense 6,577,691 titulada "Precision timing generator apparatus and associated methods",

expedida el 10 de junio del 2003 a Richards et al.

La adquisición se describe más detalladamente en la patente estadounidense 6,556,621 titulada "System for Fast Lock and Acquisition of Ultra-Wideband Signals", expedida el 29 de abril de 2003 a Richards et al., y 8,11,797 titulada: "Enhanced system and method for detecting the leading edge of a waveform", expedida el 7 de febrero de 2012 a Barnes et al.

Descripción detallada de las realizaciones ejemplares

La figura 1 es un diagrama de bloques ejemplar de un sistema de medición de distancia según la presente divulgación. Haciendo referencia a la figura 1, un transceptor 102 está acoplado a una primera antena 106 y una segunda antena 110 para medir la distancia 108 entre las dos antenas 106, 110. La antena 106 puede ser, habitualmente, una antena que se puede mover o móvil conectada al transceptor a través de una un cable 104 relativamente largo, mientras que la antena 110 se puede conectar, habitualmente, al receptor a través del cable 112 opcional. La antena 106 se puede conectar, preferentemente, a la parte de transmisión del transceptor 102. Al conectar el cable más largo al lado de transmisión, se puede aumentar la potencia de transmisión para superar la pérdida de cable mientras se mantiene la intensidad de campo de transmisión especificada en la antena. Además, esta configuración permite que la antena de transmisión se coloque dentro del dispositivo bajo prueba promoviendo una mayor potencia de transmisión mientras se mantiene la intensidad de campo de transmisión especificada en la superficie del dispositivo bajo prueba.

Más generalmente, el cable 104 puede ser un enlace de comunicación 104 que tiene un retardo de tiempo conocido o determinable, preferentemente estable. El enlace de comunicación 104 puede comunicar la señal transmitida desde el transmisor 102 a la antena 106. Alternativamente, las señales de sincronización pueden comunicarse por el enlace de comunicación 104 y la señal de transmisión puede generarse cerca del extremo de la antena 106 del enlace de comunicación 104.

Alternativamente, las conexiones de transmisión y recepción pueden invertirse, es decir, la antena 106 para recibir y la antena 110 para transmitir. En una alternativa adicional, los cables 112 y 104 pueden tener cualquier longitud deseada y cualquiera o ambas antenas pueden moverse o fijarse según la aplicación. En algunas aplicaciones, la antena de recepción puede ser una antena directiva para aumentar el alcance y el rechazo de interferencias sin aumentar la potencia radiada.

En funcionamiento, una señal se transmite a través del cable 104 a la antena 106. La señal transmitida se propaga a través de la ruta 108 para recibir la antena 110 y el cable 112 al receptor. El receptor está configurado para medir la diferencia de tiempo entre la transmisión y la recepción de la señal. Los retardos del cable se restan del retardo total para determinar el retardo de propagación y, por lo tanto, determinar la distancia a través de la ruta 108.

Habitualmente, la longitud del cable es constante para las variaciones de temperatura o bobinado; sin embargo, para casos especiales o para una mayor precisión, la temperatura y la tensión se pueden corregir midiendo la temperatura y/o la tensión y determinando un factor de corrección basado en la caracterización experimental o teórica del cable.

En una variación, el transceptor es un transceptor de impulsos de banda ultra ancha y la señal recibida se procesa utilizando un receptor de exploración de tiempo para determinar una forma de onda de respuesta de canal. La forma de onda de respuesta del canal se procesa entonces para encontrar un borde de ataque de la señal de pulso. La sincronización del borde de llegada se utiliza para determinar con precisión la sincronización de la señal recibida. La señal del borde de entrada resulta de la ruta de propagación directa más corta entre las dos antenas. Las señales de múltiples rutas se demorarán desde la ruta directa y, por lo tanto, serán rechazadas por el procesamiento del receptor. Por lo tanto, el sistema de la figura 1 puede proporcionar mediciones de distancia precisas en presencia de interferencia de múltiples rutas, incluidas las rutas múltiples estáticas y dinámicas, una característica deseable para los sistemas dinámicos.

La figura 2 es un diagrama de tiempo ejemplar y una forma de onda de exploración producidos por el receptor de exploración que ilustra varias características del sistema de medición de distancia de la figura 1. Haciendo referencia a la figura 2, una forma de onda de exploración para un tiempo completo de transmisión a recepción se muestra como el intervalo 202 a lo largo del eje de tiempo 226. Se muestra una ventana de exploración acortada como intervalo 204. Se transmite un pulso en el tiempo 206. La transmisión crea, habitualmente, una perturbación en la señal recibida debido a un acoplamiento parásito interno al transceptor 208. El pulso transmitido se propaga a través del canal de comunicaciones 104 cableado y llega a la antena de transmisión 106 en el tiempo 210. La señal se propaga a través del medio (aire y/o material translúcido de RF) y luego se recibe a través de la antena de recepción 110 y el receptor.

El receptor puede definir una ventana de exploración 224 en el intervalo 204 para un procesamiento más rápido durante las mediciones repetitivas. La ventana tiene un tiempo de inicio 212 y un tiempo de finalización 214 que abarcan la distancia dinámica máxima del dispositivo bajo prueba. Como se muestra, la señal de pulso 222 se recibe en la ventana 204. La señal 222 tiene un pico 220, que puede usarse para determinar la intensidad de la señal. El

primer ruido 218 anterior al pulso 222 se puede usar para determinar un umbral de borde delantero. La resolución de exploración de la ventana también puede ajustarse para optimizar la precisión del borde de ataque al tiempo que minimiza el tiempo de exploración y procesamiento.

La distancia se puede calcular de la siguiente manera:

$$5 \quad \text{Distancia} = c * (T_{\text{led}} + T_{\text{scanstart}} - T_{\text{calib}} - T_0),$$

Donde,

10 Distancia es la distancia 108 entre las antenas, c es la velocidad de la luz (o sonido) en el medio, T_{led} es la diferencia de tiempo desde el inicio de la ventana de exploración 212 hasta la detección del borde anterior (la primera, ruta de energía más directa) 228, $T_{\text{scanstart}}$ es el tiempo del inicio de la ventana de exploración 212, T_{calib} es el retardo de tiempo calibrado entre $T_{\text{scanstart}}$ y T_0 , que abarca los retardos eléctricos del sistema comunes en la electrónica de radio, así como el retardo de propagación a través de la antena y el cable de recepción, y T_0 es el tiempo del tiempo de transmisión desde la antena de transmisión 206.

15 La figura 3 muestra una exploración ejemplar junto con características de procesamiento para identificar la sincronización del borde delantero. La figura 3 muestra un mayor detalle en la ventana de procesamiento 224 de la figura 2. Haciendo referencia a la figura 3, se utiliza un intervalo de medición de ruido para determinar un nivel de ruido antes de la llegada del pulso 222. El ruido promedio se puede usar para establecer un umbral para determinar el borde de ataque. El umbral 302 puede ser, por ejemplo, tres veces el ruido RMS basado en el ruido RMS en el intervalo de ruido 306. El pulso 222 recibido se muestra con una envolvente de valor 304 absoluto. El tiempo de borde de ataque 228 se determina como el tiempo que la envolvente de pulso 304 recibida supera el umbral 302.

20 El umbral 302 se puede encontrar multiplicando una medición de ruido de fondo por un factor predeterminado. Habitualmente, el ruido de fondo se puede encontrar al medir el ruido en una ventana de ruido 306 al comienzo de la ventana de exploración. El promedio de ruido o el valor RMS se puede determinar y el valor de ruido, que se supone que es ruido de radio constante, se puede multiplicar por un factor, por ejemplo, tres, para determinar el umbral del borde de ataque 302. El experimento se puede usar para encontrar el mejor factor.

25 La envolvente 304 puede calcularse como el valor absoluto de la señal 222. Alternativamente, el valor absoluto puede filtrarse. Alternativamente, se puede usar una transformación de Hilbert de la señal. Se pueden usar otras técnicas para proporcionar una estimación de la envolvente de la señal.

30 Otra técnica utiliza filtros combinados basados en la señal transmitida modificada a través del canal de transmisión para estimar el tiempo de llegada de la señal recibida. En esta técnica, una o más plantillas de señales preconfiguradas, basadas en las propiedades de los canales de RF dinámicos selectivos de frecuencia, pueden correlacionarse con la señal recibida. Un proceso completo determinará la correlación en todas las fases entre la señal recibida y la(s) plantilla(s). La plantilla con la correlación global más alta indicaría el borde de ataque como el desplazamiento de fase con el coeficiente de correlación más alto. Esta técnica también podría usarse para indicar con más detalle la configuración dinámica y/o las propiedades del material del canal de RF interpuesto.

35 Este sistema utiliza el análisis de respuesta al impulso de canal (CIR) de la señal para maximizar la evaluación del canal y la precisión de la medición. A menudo, proporcionar una evaluación de precisión confiable que acompañe a cada medición puede ser una característica importante de los filtros de localización ponderados óptimos recursivos.

40 La figura 4 ilustra un diagrama de bloques del sistema ejemplar que incluye el control de tiempo de la parte del receptor de exploración del transceptor. Haciendo referencia a la figura 4, el transceptor comprende una RF y una sección de sincronización 402 y una sección de procesamiento 404, 406, 408. La sección de procesamiento comprende un procesador 404 para procesar datos de exploración con la memoria 408 asociada. El resultado de la distancia puede ser filtrado, opcionalmente, por un filtro 406. El filtro puede ser un filtro de paso bajo, un filtro de paso de banda, un filtro de Kalman u otro filtro que se use, normalmente, para la navegación o el seguimiento. Estos filtros utilizan la historia reciente del tiempo de vuelo o la ubicación de la distancia a lo largo del tiempo para aumentar la confiabilidad de cada nueva evaluación.

45 En funcionamiento, el control de sincronización 410 proporciona una estructura de señal de sincronización precisa para activar el transmisor 414 y el receptor de exploración 412, 416. El control de sincronización 410 utiliza una base de tiempo común, habitualmente un oscilador de referencia basado en cristal, para proporcionar todas las señales de sincronización, manteniendo así todas las señales de sincronización sincrónicas. El transmisor 414 transmite una secuencia de pulsos. Habitualmente, la secuencia de pulsos puede codificarse en tiempo y/o polaridad para extender el espectro. Diferentes códigos también pueden proporcionar separación de canales entre varias unidades que operan en las proximidades. El control de sincronización 410 también proporciona señales de sincronización para el receptor de exploración. El receptor de exploración construye un conjunto de datos de muestras de señales recibidas donde

las muestras se retrasan en un alcance de retardos. Por lo general, un pulso puede dar como resultado una o solo unas pocas muestras, por lo que se requieren muchos pulsos para construir la exploración completa. Por ejemplo, una exploración de un intervalo de tiempo de 100 ns puede muestrear cada 50 ps. Por lo tanto, se pueden requerir 20,000 muestras para construir la exploración completa. Por lo tanto, para cada pulso transmitido, el receptor toma una muestra de desplazamiento aumentada de manera correspondiente. El valor de la señal resultante se registra en una matriz de memoria secuencial para producir un conjunto de datos de exploración, o "escanear". La figura 2 y la figura 3 muestran exploraciones ejemplares.

El procesador de análisis de sincronización 404 realiza el análisis de la forma de onda en los datos de exploración para determinar el ruido de fondo, el umbral del borde de ataque, el tiempo del borde de ataque, la intensidad de la señal y otros cálculos relacionados. La medición de la distancia resultante puede filtrarse entonces para una mejor estabilidad y robustez, especialmente en presencia de ruido. El bloque de análisis de sincronización 404 también puede producir un valor de confianza de medición basado en la intensidad de la señal para ayudar al filtro 406.

En algunas realizaciones, se puede agregar un bloque de control de retroalimentación de proceso para utilizar la medición de distancia o el cambio en la distancia a través del historial de exploración. Este bloque también puede funcionar directamente en el tiempo de llegada del borde de ataque de exploración. Una multitud de transceptores con elementos de procesamiento de señal asociados pueden asociarse con un bloque de control para la localización multidimensional. Alternativamente, el almacenamiento, los filtros medios y atípicos, y la pantalla del usuario podrían integrarse para aplicaciones de investigación de precisión.

Calibración

Cuando el sistema se pone en funcionamiento por primera vez, diversas características, en particular, los retardos de tiempo pueden ser desconocidos. Por lo tanto, puede ser beneficioso realizar una calibración para establecer retardos fijos del sistema, tales como retardos de cable, activación y retardos de umbral. Un proceso de calibración ejemplar puede ser el siguiente:

- 1) Establecer el sistema en funcionamiento con una distancia conocida entre la antena de transmisión y la antena de recepción.
- 2) Registrar la medición de la distancia media, el error sistémico (sesgo) y el error aleatorio (desviación estándar).
- 3) Iniciar el modo de calibración en el transceptor.
- 4) Almacenar el error de polarización como un factor de desplazamiento fijo en la configuración de calibración.
- 5) Almacenar el error aleatorio como un factor de calidad durante esta configuración (tal como la configuración de flexión) del dispositivo bajo prueba.
- 6) Volver al modo de operación y verificar la medición correcta de la distancia reportada.
- 7) Repetir según sea necesario.

Aplicaciones

Esta técnica es adecuada para cualquier área que requiera una medición de precisión (~1 mm) a distancias limitadas, donde un cable se pueda ejecutar entre los dos puntos de interés. El sistema tiene ventajas sobre los sistemas ópticos en polvo, precipitación y ambientes contaminados. La señal de RF puede penetrar en la mayoría de los materiales de pared, plásticos, fibra de carbono o epoxi.

Las aplicaciones de ejemplo incluyen, pero no se limitan a:

- Deflexión de la pala de viento para generadores de energía eólica,
- Medición del movimiento del accionador lineal en procesos de fabricación.
- Mediciones de investigación a través de la pared (interior),
- Localización de efector en palas, robot de recogida y colocación,
- Localización precisa de efectores en aparatos médicos, y
- Medida Doppler de las velocidades de vibración del martillo.
- Estimación dinámica de la flexión de un palo de golf a través de un columpio.

Medición de desviación de la pala de viento para generadores de energía eólica,

La figura 5A y la figura 5B ilustran un sistema ejemplar de medición de desviación de la pala de viento según la presente divulgación. Se muestra una única pala de viento. Un generador de viento habitual puede usar dos, tres o más palas para cada instalación. Cada pala de viento puede tener, por ejemplo, pero no limitarse a 30 y 60 metros de longitud. La pala de viento está montada en un cubo (no mostrado) y puede girarse alrededor de un eje de rotación de la pala para variar el ángulo de ataque de la pala en relación con el viento. El ángulo de rotación de la pala se ajusta según un algoritmo de control para proporcionar la máxima eficiencia, la máxima potencia, regular la velocidad o la seguridad y la supervivencia en vientos fuertes. Un factor en el control se relaciona con la deflexión de la pala de viento

en respuesta a la velocidad de viento, dirección, velocidad y posición de la pala. La deflexión precisa de la pala de viento permite el uso de una construcción de pala de viento más larga con materiales más ligeros.

La figura 5A muestra una vista de borde de una pala de viento que muestra el sistema de medición de desviación. La figura 5B muestra una vista frontal de la pala de viento que muestra las ubicaciones de la antena. Haciendo referencia a la figura 5A, la pala de viento 502 se muestra con un eje de rotación de pala 504 y un eje de rotación de cubo 506. Se muestra el sistema de medición de desviación de pala ejemplar que comprende un primer transceptor 508 con antena de recepción, un segundo receptor 514 con antena de recepción un cable de transmisión 524 y dos antenas de transmisión 510 y 516. El cable 524 se puede terminar, habitualmente, en un divisor que divide la energía en las dos antenas 512 y 516. Alternativamente, se puede usar un interruptor para alternar entre la antena 512 y la antena 516. Alternativamente, puede haber una antena en la punta 516 que transmite a ambos lados 514 y 508 en el enlace de detección 512 del lado frontal (lado de barlovento) de la raíz A que comprende una antena de transmisión 510 del lado frontal y un receptor 508 del lado frontal y una antena de recepción. Se muestra una ruta de detección de línea de visión 512. También se muestra un enlace de detección del lado trasero (lado de sotavento) que comprende una antena 516 transmisora del lado trasero y un receptor 514 del lado trasero y una antena de recepción. En funcionamiento, el viento 520 aplica presión al lado delantero (lado de barlovento) y hace que la pala se doble. A medida que la hoja se dobla, la punta de la hoja se mueve a lo largo del arco 522, lo que provoca un ligero alargamiento de la ruta de propagación 512 y una disminución de la ruta de propagación 518. Se puede usar una medida sensible del cambio en las distancias de la ruta para determinar la desviación a lo largo de la ruta 522 basada en un modelo de flexión estructural de la pala 502, pudiendo la antena lateral delantera 508 y la antena lateral trasera 514 desplazarse desde el centro del arco 522 para aumentar la sensibilidad al movimiento de la punta 516. En una variación, se puede usar la triangulación para determinar la posición de la punta o el movimiento. En una variación adicional, un cambio en el retardo a lo largo de la ruta 512 se puede combinar con un cambio en el retardo a lo largo de la ruta 518 para determinar la flexión de la pala según un modelo de flexión o según el experimento.

La figura 5B muestra el lado frontal de la pala. La pala se muestra con el receptor lateral frontal 508 y la antena frontal. El cable 524 puede estar incorporado en la pala 502. En una variación, el cable puede estar integrado en el sistema de protección contra rayos de la pala. Por ejemplo, el blindaje del cable coaxial también se puede usar como conductor de protección contra rayos. El blindaje del cable se puede conectar a un electrodo del rayo en la punta 526 de la pala y también se puede conectar a una ruta a tierra en la raíz 528 de la pala a través del cubo 506. El eje del cubo 506 es perpendicular al plano del dibujo y se indica por un círculo 506.

Otra ventaja del sistema de banda ancha está en el rechazo de la ruta múltiple, por ejemplo, las reflexiones de rutas múltiples desde la torre. La frecuencia de repetición del pulso se puede mantener lo suficientemente baja para permitir que la caída de las rutas múltiples desde una estructura de torre disminuya sustancialmente, por ejemplo, 10 dB, antes de que se reciba un pulso posterior. La codificación y la integración de pulsos también se pueden usar para reducir rutas múltiples.

La figura 6A muestra un diagrama de bloques del sistema ejemplar de la figura 5A. Haciendo referencia a la figura 6, el sistema comprende un único transmisor 602 y dos receptores 508, 514. El transmisor 602 y dos receptores funcionan sincrónicamente desde una única base de tiempo. El transmisor 602 transmite una secuencia de pulsos a través del cable 524 a las dos antenas de transmisión 510 y 516. La señal transmitida es recibida por las antenas 604 y 606 y los receptores 508 y 514 respectivos. Cada receptor procesa el retardo en el retorno para determinar la distancia respectiva. En una variación, las señales transmitidas se desplazan en el tiempo entre sí desplazando las antenas a lo largo de la pala como se muestra en la figura 5A o proporcionando diferentes longitudes de cable. Como resultado, los pulsos respectivos se desplazan en el tiempo y pueden estar separados por los receptores respectivos. Por ejemplo, cada receptor puede funcionar utilizando una ventana de exploración (figura 2, 224) que cubre un alcance para la antena de transmisión respectiva. Las ventanas de exploración pueden cubrir períodos de tiempo no superpuestos.

En otra variación, se pueden usar dos transmisores separados y receptores separados asociados para formar enlaces para los lados frontal y posterior. Los dos sistemas pueden estar sincronizados, o pueden no estar sincronizados. Los dos enlaces pueden separarse mediante el uso de diferentes códigos, tasas de repetición de pulsos, división de tiempo u otras técnicas de canalización utilizadas por banda ultra ancha.

Haciendo referencia nuevamente a la figura 6A, las dos mediciones de distancia desde la parte frontal (receptor 508 del lado de alta presión) y la parte trasera (el receptor 514 del lado de baja presión) se envían a un ordenador de control 608, que determina la deflexión de la pala y luego determina el control necesario. El control necesario se alimenta luego a un procesador de retroalimentación 610, que acciona el servo 612 de la pala para hacer girar la pala al ángulo de ataque deseado. La deflexión de la pala es, habitualmente, una función del levantamiento de la pala debido a las fuerzas aerodinámicas.

En una variación, se puede realizar una medición de deflexión de la pala en una pala y todas las palas de la misma turbina se pueden controlar según la medición de una pala. Alternativamente, cada pala puede tener una medida de deflexión de la pala independiente y un control independiente asociado.

Como se ilustra, se realiza una medición frontal y posterior para determinar la deflexión de la pala. Alternativamente, se puede hacer una única medición (delantera o trasera) y el control se puede basar en la única medición.

- 5 La figura 6B representa una función ejemplar del retardo de elevación frente a comparación como se mide en la figura 6A. Haciendo referencia a la figura 6A, el punto 616 representa un origen inactivo, es decir, una pala estática sin viento. Se comparan el retardo desde el lado de alta presión (lado de barlovento) y el retardo desde el lado de baja presión (lado de sotavento). Cualquier diferencia es un retardo de referencia que debe restarse para obtener un retardo de comparación cero en el origen 616. Cuando hay viento, el lado de alta presión se dobla para alargar la distancia entre la antena 604 y la antena 510, lo que aumenta el retardo. El lado de presión baja se dobla para acortar la distancia entre la antena 606 y la antena 516, lo que disminuye el retardo. De este modo aumenta la diferencia, generando la función 614 de la figura 6B. Téngase en cuenta que puede no ser necesario calcular explícitamente la distancia o el cambio en la distancia. Se puede generar una función que relacione el tiempo directamente con la elevación de la pala. La elevación de la hoja se puede ingresar al ordenador de control para ajustar el ángulo de ataque de la pala, o para ajustar el paso de la pala, según se desee.

Medición de movimiento del accionador lineal en procesos de fabricación,

- 15 Los accionadores lineales se utilizan con frecuencia en los procesos de fabricación. Los sensores de posición asociados suelen ser codificadores de lectura indirecta u otros sensores en los engranajes o motores. Hay ocasiones en que los efectos de flexión, la gran longitud o geometría requieren una medición directa.

- 20 La figura 7 ilustra un sensor de posición ejemplar acoplado a un accionador 702 lineal. El sensor de posición comprende un transmisor 414, un receptor 416 y un procesador de señales 418. La señal transmitida se acopla a través de un cable 104 flexible a una antena de transmisión 106 colocada en el artículo 704 móvil que se va a medir. La posición puede ser alimentada después a un controlador 706. La señal transmitida puede procesarse para determinar un borde de ataque que sea resistente al desorden de rutas múltiples (véase la figura 2) y puede proporcionar una medición precisa en ambientes complejos y contaminados.

Mediciones de la investigación a través de la pared (interior),

- 25 La figura 8 ilustra una aplicación de investigación de interior ejemplar. La figura 8 muestra un edificio 810 ejemplar con paredes, pasillo 806, habitaciones 804 y puertas 808. Se implementa un sistema ejemplar. Un transmisor 414, el receptor 416 y el procesador 418 residen en una habitación de la esquina. Una antena de transmisión 106 está conectada por cable 104 y se lleva a una habitación lejana. La señal se transmite desde la antena de transmisión 106 de vuelta al receptor 110, 106. La distancia 108 se mide directamente a través de las paredes en presencia de interferencia de rutas múltiples. Se puede determinar un borde de ataque a partir de la señal recibida en relación con un componente de señal de ruta directa que representa una ruta de señal de línea 108 recta. El resultado puede visualizarse 802 para un usuario. El sistema puede inspeccionar espacios en presencia de paredes ópticamente opacas.

Localización de efector en palas, robot de recogida y colocación,

- 35 La figura 9 ilustra un sensor de posición ejemplar configurado para la localización del efector. El efector puede ser, por ejemplo, pero no limitarse a un robot de fabricación, una grúa de construcción, un robot de recogida y colocación u otro efector. La figura 8 ilustra el transceptor 414, 416 ubicado en o cerca de la raíz del efector 904 con la antena 110 receptora cerca de la raíz. El cable de transmisión 104 corre a lo largo de la estructura del brazo del efector hasta la antena de transmisión 106 en el extremo 906 del efector. Por lo tanto, la distancia 108 se mide hasta el final del efector.
- 40 En la práctica, puede desearse colocar el receptor sobre o cerca de la pieza de trabajo. También puede ser deseable usar receptores múltiples o sistemas múltiples para proporcionar posicionamiento de ejes múltiples (no mostrados). El posicionamiento de precisión puede permitir el uso de materiales más ligeros y brazos efectores más largos. Una estructura más liviana puede resultar en una operación más rápida.

Localización de precisión de efectores en aparatos médicos,

- 45 La figura 10 ilustra una aplicación médica ejemplar. La figura 10 muestra un paciente ejemplar con una sonda de catéter. La sonda incluye un pequeño cable 104 coaxial y una antena de transmisión 106. Se muestra que múltiples receptores 416 procesan la señal transmitida para obtener información de posición tridimensional. Los resultados pueden visualizarse 1002 a un usuario. La técnica puede ser utilizada para la localización de catéteres e implantes.

Medida Doppler de las velocidades de vibración del martillo.

- 50 La figura 11 ilustra una operación de martillo ejemplar accionado eléctricamente. La figura 11 muestra un martillo triturador de rocas 1104 ejemplar en una pluma hidráulica. Una antena de transmisión 106 única está ubicada en el martillo 1104 y se muestran tres receptores 416 para determinar una posición tridimensional del martillo. Los resultados

se pueden usar para el control 1102 fino del martillo 1104. Se puede usar la exploración paralela rápida y la correlación de exploración a exploración para desarrollar información de velocidad Doppler.

Medición de distancia diferencial donde ambos extremos se mueven, ejemplo de palo de golf. La figura 12 representa una aplicación de medición de flexión de un palo de golf ejemplar. Resulta de interés medir la flexión de un palo de golf durante un *swing*. La figura 12 muestra el palo de golf 1202 con una flexión exagerada para mayor claridad junto con un golfista (que se muestra en líneas de puntos que indican que el golfista no forma parte de la invención). El palo de golf puede o no formar parte de la invención, en función de la reivindicación u otro contexto.

La figura 13 muestra el sistema de medición de palos de golf de la figura 12 con mayor detalle. La figura 13 muestra el palo de golf 1202 en una configuración doblada y en una configuración 1203 recta. La configuración 1203 recta alterna se muestra en líneas discontinuas. El palo de golf ha instalado una antena de transmisión 106 conectada a un transmisor 414 a través del cable 104 flexible de longitud fija y una antena de recepción 110 conectada a un receptor 416 a través del cable 112 flexible de longitud fija. El cable 104 puede pasar a través del palo de golf para llegar al extremo del palo, donde el cable está conectado a la antena de transmisión 106. La antena de recepción 110 se instala en el mango y se conecta a través del cable 112 al receptor. El transmisor 414 transmite un tren de impulsos y el receptor 416 recibe el tren de impulsos y se bloquea en el tren de impulsos. Se pueden observar pequeñas diferencias en la distancia 1302 desde la antena de transmisión 106 a la antena de recepción 110 en el bucle de seguimiento.

La figura 14 representa un gráfico de la distancia desde el mango hasta el palo en función del tiempo para la aplicación de la figura 12. El gráfico 1402 representa una medición de alcance en el intervalo de tiempo de un *swing* del palo de golf. Cuando el *swing* comienza y el palo se acelera, el eje del palo se dobla. La flexión da como resultado un acortamiento de la distancia desde el palo hasta el mango. La distancia en función del tiempo se puede analizar con respecto a un modelo de ordenador del palo de golf para determinar la cantidad de flexión en cualquier punto durante el *swing*. Durante el inicio del *swing*, el palo acelera y la flexión aumenta. En la mitad del *swing*, el palo golpea la pelota causando una ligera perturbación de golpe de pelota 1404. En la última parte del *swing*, el palo desacelera y vuelve a la forma original.

El ejemplo del palo de golf muestra el sistema utilizado para medir una distancia variable entre dos puntos en un objeto cuando ambos puntos están en movimiento en relación con una estructura de referencia del usuario (la estructura del palo de golf). Este ejemplo ilustra la capacidad de medir la distancia relativa y, por lo tanto, la flexión de un dispositivo con ambos puntos de extremo en movimiento. Otros tales dispositivos podrían incluir enlaces individuales integrados en aparatos mecánicos más grandes.

La figura 15 representa un gráfico de la aceleración en el tiempo (asumiendo que los acelerómetros se usan como fuente de ayuda en la cabeza del palo). La comparación de los gráficos 1402 y 1502 muestra una correlación inversa entre la distancia y la aceleración en este ejemplo, mejorando de este modo la estimación y la caracterización de la fuerza y el efecto de golpeo en los tiempos 1404 y 1504. La señal de correlación o la señal de seguimiento pueden entonces relacionarse con el cambio en la distancia al relacionarse con las pruebas de calibración para el sistema. El gráfico de correlación 1502 muestra las características de aceleración inicial, golpe de bola 1504 y desaceleración.

Otras variaciones

La figura 16 ilustra una variación ejemplar que utiliza dos antenas de transmisión y una única antena de recepción. Haciendo referencia a la figura 16, el transceptor 102 transmite una señal a través de medios de comunicación 104 a un divisor 1602, que divide la señal en una primera antena 1604 y una segunda antena 1606. Cada antena 1604 y 1606 transmite una señal respectiva a la antena 110, que acopla las señales recibidas a la sección del receptor del transceptor 102. Como se muestra, la antena 1604 está más cerca que la antena 1606. La diferencia de distancia se puede usar para separar las señales en el receptor. El transceptor 102 puede usar el tiempo esperado para separar las dos señales recibidas en la misma banda de frecuencia. Por ejemplo, se puede formar una ventana de exploración para el tiempo esperado de una señal de la antena 1604 y las señales pueden procesarse entonces para la antena 1604. Después, la ventana de exploración puede configurarse para las señales en la vecindad esperada para la antena 1606 y después las señales pueden procesarse para la antena 1606. Alternativamente, se pueden construir dos secciones de receptor para procesar las dos ventanas de tiempo en paralelo.

La figura 17 ilustra un sistema ejemplar que usa dos transceptores combinados en un único cable y alimentados a dos antenas de transmisión. Haciendo referencia a la figura 17 el transceptor 102 y el transceptor 1702 tienen puertos de transmisión y recepción separados. Los puertos de transmisión se combinaron en 1704 y se enviaron a través de un medio de comunicación 104 a la ubicación de transmisión. Las dos señales de transmisión se dividen 1602 y se alimentan a dos antenas de transmisión 1604 y 1606, cada una de las cuales alimenta ambas señales. Las señales se reciben después por las antenas de recepción 110 y 1710. Las antenas de recepción 110 y 1710 pueden estar separadas entre sí, y las antenas de transmisión 1604 y 1606 pueden estar separadas entre sí. La geometría proporciona cuatro combinaciones de pares de antenas de transmisión que reciben cuatro retardos de tiempo y distancias correspondientes que se pueden medir, es decir, la antena 1604 a la antena 110, la antena 1604 a la antena 1710, la antena 1606 a la antena 110 y la antena 1606 a la antena 1710. Por lo tanto, las cuatro longitudes se pueden

combinar mediante triangulación o mediante la inclusión de restricciones geométricas para determinar el movimiento del objeto.

5 El monitoreo del retardo de tiempo entre múltiples antenas y múltiples antenas de recepción podría proporcionar redundancia y también se puede usar para proporcionar una localización del haz de 2 o 3 dimensiones que permite el monitoreo no solo de la flexión sino también de la torsión del dispositivo, por ejemplo, el palo del viento.

10 La figura 18 ilustra un sistema ejemplar adicional que utiliza dos antenas de recepción y dos antenas de transmisión. Haciendo referencia a la figura 18, el receptor 1802 recibe una señal de sincronización desde el transceptor 102 para permitir que el receptor 1802 calcule el tiempo de retardo de transmisión - recepción de las antenas de transmisión 1604 y 1606. De este modo, el sistema de la figura 18 puede medir las cuatro longitudes y proporcionar los beneficios como se describe con respecto a la figura 17.

La figura 19 ilustra un sistema ejemplar adicional que utiliza dos antenas de recepción y dos antenas de transmisión. Haciendo referencia a la figura 19, el transceptor de entrada 1902 dual puede incluir un interruptor para alternar entre las dos antenas 110 y 1910. De este modo, el sistema de la figura 19 puede medir las cuatro longitudes y proporcionar los beneficios como se describe con respecto a la figura 17.

15 En la figura 16 a la figura 19, el divisor 1602 puede ser un divisor de energía pasivo de RF que sumerge la energía en las dos antenas. Como alternativa, el divisor puede ser un interruptor que selecciona una antena (por ejemplo, 1604) y selecciona alternativamente la otra antena (por ejemplo, 1606) en un horario predeterminado, lo que permite la medición independiente de las distancias de cada antena de transmisión, aunque las distancias puedan ser muy cercanas entre sí. El interruptor 1602 se puede controlar a través de medios de comunicación 104, por ejemplo, pero
20 no se limita a una señal de CC o de pulso en los medios de comunicación 104. Sin el interruptor, utilizando el divisor de energía, las antenas 1604 y 1606 deben estar lo suficientemente separadas para la ruta múltiple de la primera antena que va a decaer antes de que llegue el segundo pulso de la segunda antena 1606 para evitar interferencias.

25 La figura 20 ilustra un sistema ejemplar que utiliza una reflexión de alimentación de antena para calibrar los retardos del sistema. Haciendo referencia a la figura 20, el sistema comprende un transceptor de entrada 2002 triple. Dos entradas están acopladas a las antenas 110 y 1910 como en la figura 19. La tercera entrada 2008 está acoplada a un circulador 2006. La salida de transmisión 2004 del transceptor alimenta el circulador 2006 y luego se acopla al enlace 104 que alimenta las dos antenas 1604 y 1606. Una reflexión de una ligera falta de correspondencia de impedancia para la antena 1604, por ejemplo, se reflejaría nuevamente en el circulador y aparecería en la tercera entrada 2008 del transceptor 2002, entrada del receptor de reflexión 2008. La sincronización de la reflexión en la tercera entrada se
30 puede utilizar para corregir cambios en los retardos internos del sistema. Por ejemplo, un cambio en la longitud y el retardo de desvío del enlace 104 daría como resultado un doble cambio en el retardo de la reflexión recibida en la tercera entrada 2008. El cambio podría usarse para refinar las mediciones de los retardos desde las antenas 1604 y 1606 hasta las antenas 110 y 1910 al restar, por ejemplo, la mitad del cambio observado en el retardo reflejado del retardo medido de cada enlace de antena.

35 **Conclusión**

La presente invención se ha descrito anteriormente con la ayuda de bloques de construcción funcionales que ilustran el rendimiento de funciones específicas y sus relaciones. Los límites de estos bloques de construcción funcionales se han definido arbitrariamente en el presente documento para la conveniencia de la descripción. Se pueden definir
40 límites alternativos siempre que las funciones especificadas y las relaciones de los mismos se realicen adecuadamente. Cualquiera de tales límites alternativos está por lo tanto dentro del alcance de la presente invención. Un experto en la técnica reconocerá que estos bloques de construcción funcionales pueden implementarse mediante componentes discretos, circuitos integrados específicos de la aplicación, procesadores que ejecutan el *software* apropiado y similares o cualquier combinación de los mismos.

45 Si bien diversas realizaciones de la presente invención se han descrito anteriormente, debe entenderse que se han presentado solo a modo de ejemplo, y no de limitación. Por lo tanto, la amplitud y el alcance de la presente invención no deberían estar limitados por ninguna de las realizaciones ejemplares descritas anteriormente, sino que deberían definirse solo según las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de monitoreo de alcance, comprendiendo el sistema:

una primera antena (510) configurada para ubicarse en una primera ubicación;
 una segunda antena (604) configurada para ubicarse en una segunda ubicación, estando la primera antena (510)
 5 separada de la segunda antena (604);
 y un transceptor (508), comprendiendo dicho transceptor (508) un transmisor co-ubicado (602) y un primer receptor (508), estando dicho transceptor (508) acoplado a dicha primera antena (510) a través de un primer enlace de comunicación (524) y dicho transceptor (508) acoplado a dicha segunda antena (604) a través de un segundo enlace de comunicación (112);
 10 dicho primer enlace de comunicación (524) está adaptado para mantener un retardo de tiempo conocido o fijo en presencia de un movimiento relativo de dicha primera ubicación con respecto a dicha segunda ubicación;
 y una base de tiempo (410) común, estando dicho primer receptor (508) sincronizado en el tiempo con dicho transmisor (602) basándose en una señal de sincronización de tiempo desde dicha base de tiempo (410) común;
 15 dicho transceptor (508) está configurado para transmitir una señal de banda ancha transmitida usando dicha primera antena (510) y recibir una señal de banda ancha recibida que responde a dicha señal de banda ancha transmitida usando dicha segunda antena (604), estando dicho transceptor (508) configurado para medir una primera diferencia de tiempo entre dicha señal de banda ancha transmitida y dicha señal de banda ancha recibida, siendo dicha primera diferencia de tiempo indicativa de un primer alcance (512);
 en el que el primer enlace de comunicación (524) es una línea de transmisión flexible suficientemente flexible para permitir el movimiento de dicha primera antena (510) en relación con dicho transceptor (508).

2. El sistema de monitoreo de alcance según la reivindicación 1, en el que dicho transceptor (508) es operable para calcular dicho primer alcance (512) entre dicha primera ubicación de la primera antena (510) y dicha segunda ubicación de la segunda antena (604) basándose en dicha primera diferencia de tiempo entre dicha señal de banda ancha transmitida y dicha señal de banda ancha recibida.

3. El sistema de monitoreo de alcance según la reivindicación 2, en el que dicha primera ubicación y dicha segunda ubicación están conectadas por un miembro (502) flexible, respondiendo dicho primer alcance a la flexión de dicho miembro (502) flexible; y en el que el sistema está configurado para calcular dicho primer alcance (512) cuando tanto la primera antena (510) como la segunda antena (604) son capaces de movimiento en relación con dicho transceptor (508).

4. El sistema de monitoreo de alcance según la reivindicación 3, en el que el transceptor (508) comprende además al menos un receptor (514) adicional y al menos una antena (606) adicional conectada a dicho al menos un receptor (514) adicional; dicho al menos un receptor (514) adicional recibe dicha señal de banda ancha transmitida y calcula una segunda diferencia de tiempo y un segundo alcance (518);
 dicho sistema combina dicho primer alcance (512) y dicho segundo alcance (518) usando la trilateración para determinar una posición de dicha primera ubicación.

5. El sistema de monitoreo de alcance según la reivindicación 1, que incluye además una pala de energía (502) eólica; en el que dicha primera antena (510) está posicionada en la mitad de la punta de dicha pala de energía (502) eólica y dicha segunda antena (604) está posicionada en la mitad de la raíz de dicha pala de energía (502) eólica.

6. El sistema de monitoreo de alcance según la reivindicación 5, que incluye además un controlador de pala de energía (608) eólica; en el que dicho controlador de pala de energía (608) eólica está configurado para controlar un paso o ángulo de ataque de dicha pala de energía (502) eólica basándose en dicha primera diferencia de tiempo.

7. Un método para monitorear el alcance, comprendiendo el método las etapas siguientes:

proporcionar una primera antena (510) en una primera ubicación;
 proporcionar una segunda antena (604) en una segunda ubicación, estando la primera antena (510) separada de la segunda antena (604);
 proporcionar un transmisor (602) acoplado a dicha primera antena (510) a través de un primer enlace de comunicación (524); dicho primer enlace de comunicación (524) comprende una línea de transmisión flexible lo suficientemente flexible para permitir el movimiento entre dicha primera antena (510) y dicho transmisor (602) y adaptable para mantener un retardo de tiempo conocido o fijo en presencia del movimiento relativo entre dicha primera ubicación de la primera antena (510) y dicha segunda ubicación de la segunda antena (604);
 proporcionar un primer receptor (508) acoplado a dicha segunda antena (604) a través de un segundo enlace de comunicación (112); dicho primer receptor (508) está sincronizado en el tiempo con dicho transmisor (602) basándose en una señal de sincronización de tiempo desde una base de tiempo (410) común; dicho transmisor (602) y el primer receptor (508) se colocan conjuntamente;
 dicho primer receptor (508) comprende un procesador (608);

- dicho transmisor (602) transmite una señal de banda ancha transmitida desde dicho transmisor (602) a través de la primera antena (510); dicho primer receptor (508) recibe una señal de banda ancha recibida a través de dicha segunda antena (604) que responde a dicha señal de banda ancha transmitida;
- 5 dicho primer receptor (508) mide una diferencia de tiempo de referencia entre dicha señal de banda ancha recibida y dicha señal de banda ancha transmitida;
- dicho procesador (608) determina un tiempo de referencia de vuelo de dicha señal de banda ancha transmitida para un primer posicionamiento de dicha primera antena (510) y dicha segunda antena (604) basándose en dicha diferencia de tiempo de referencia;
- 10 dicho procesador (608) determina una primera vez de vuelo de dicha señal de banda ancha transmitida para el segundo posicionamiento de dicha primera antena (510) y dicha segunda antena (604); y
- dicho procesador (608) determina un primer cambio en el tiempo de vuelo de dicha señal de banda ancha transmitida para dicho segundo posicionamiento comparando dicho primer tiempo de vuelo y dicho tiempo de referencia de vuelo.
- 15 8. El método para monitorear el alcance según la reivindicación 7, que incluye además dicho procesador (608) que calcula un primer cambio de alcance entre la primera antena (510) y la segunda antena (604) en función de dicho primer cambio de tiempo de vuelo de dicha señal de banda ancha transmitida desde la primera antena (510).
- 20 9. El método para monitorear el alcance según la reivindicación 7, que incluye además un miembro (502) flexible conectado entre dicha primera ubicación y dicha segunda ubicación, respondiendo dicha primera vez de vuelo a la flexión de dicho miembro (502) flexible; incluyendo además la etapa:
- mover la primera antena (510) y la segunda antena (604) en relación con dicho primer receptor (514).
- 25 10. El método para monitorear el alcance según la reivindicación 9, que incluye además un segundo receptor (514) y una tercera antena (606) conectados a dicho segundo receptor (514); dicha tercera antena (606) genera una segunda señal recibida que responde a dicha señal de banda ancha transmitida; dicho segundo receptor (514) calcula un segundo tiempo de vuelo basándose en dicha segunda señal recibida, y dicho segundo receptor (514) calcula un segundo cambio de alcance comparando dicho segundo tiempo de vuelo con un segundo tiempo de referencia de vuelo; dicho método incluye además la etapa:
- 30 dicho procesador (608) combina dicho primer cambio de alcance y dicho segundo cambio de alcance usando la trilateración para determinar un cambio de posición de dicha primera antena (510);
- incluye además una pala de energía (502) eólica que tiene dicha primera antena (510) en una mitad de punta de dicha pala de energía (502) eólica y que tiene dicha segunda antena (604) en una mitad de la raíz de dicha pala de energía eólica; y el cambio de posición es una posición relativa de dicha primera antena (512) en comparación con una posición de dicha segunda antena (504).
- 35 11. El método para monitorear el alcance según la reivindicación 10, que incluye además una etapa:
- dicho procesador (608) controla un paso o ángulo de ataque de la pala de energía eólica basándose en dicha posición relativa de dicha primera antena (510).

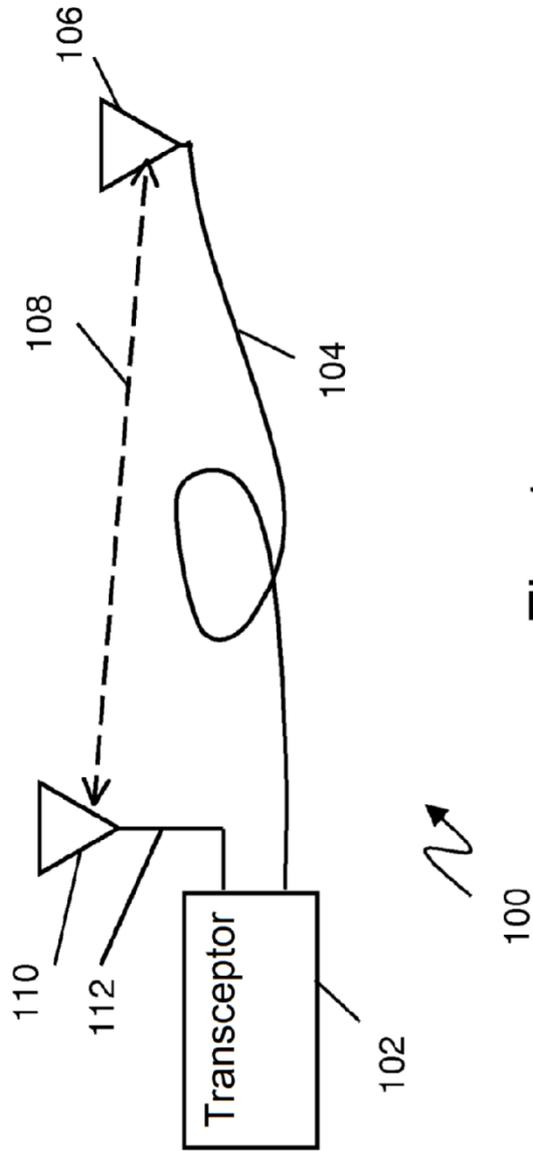


Fig. 1

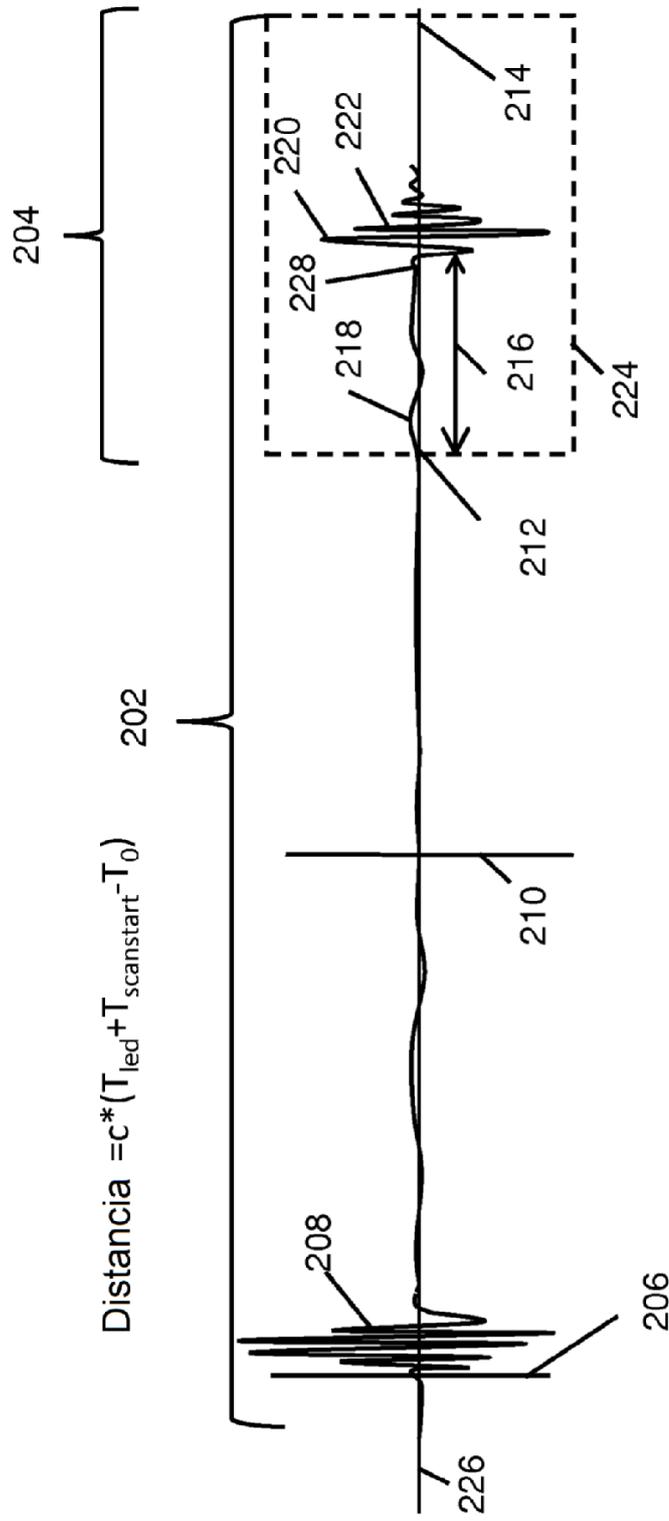


Fig. 2

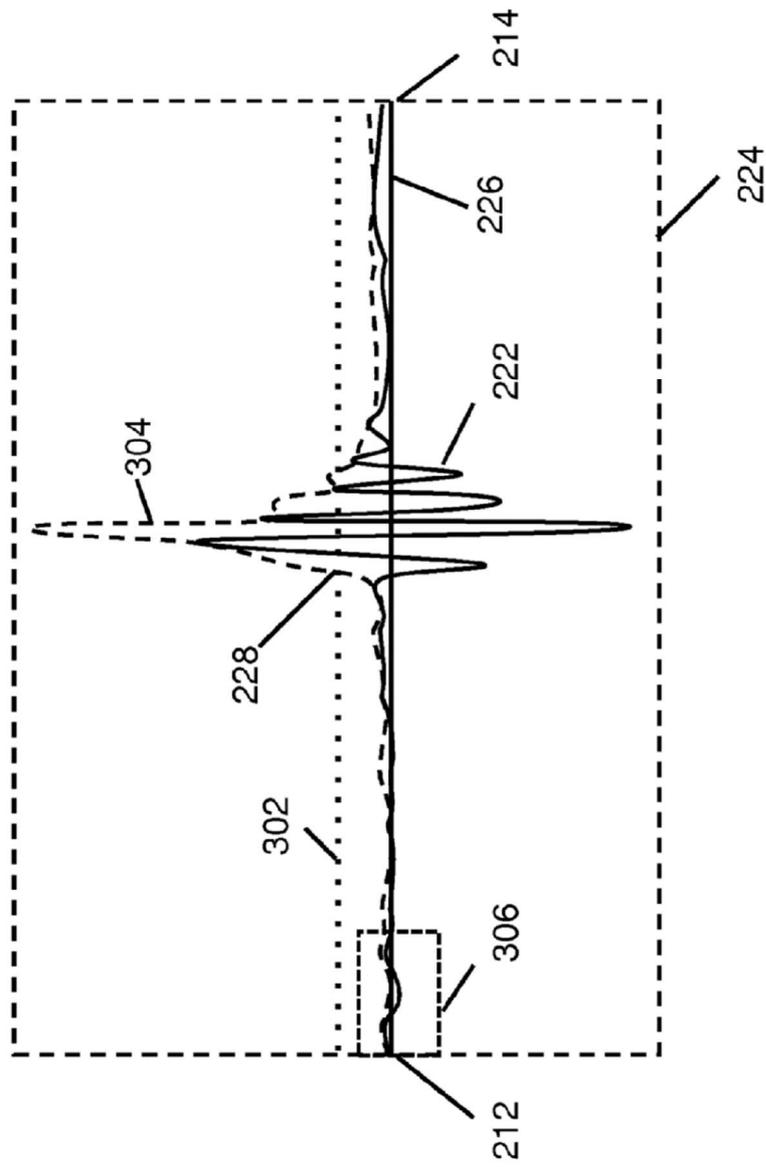


Fig. 3

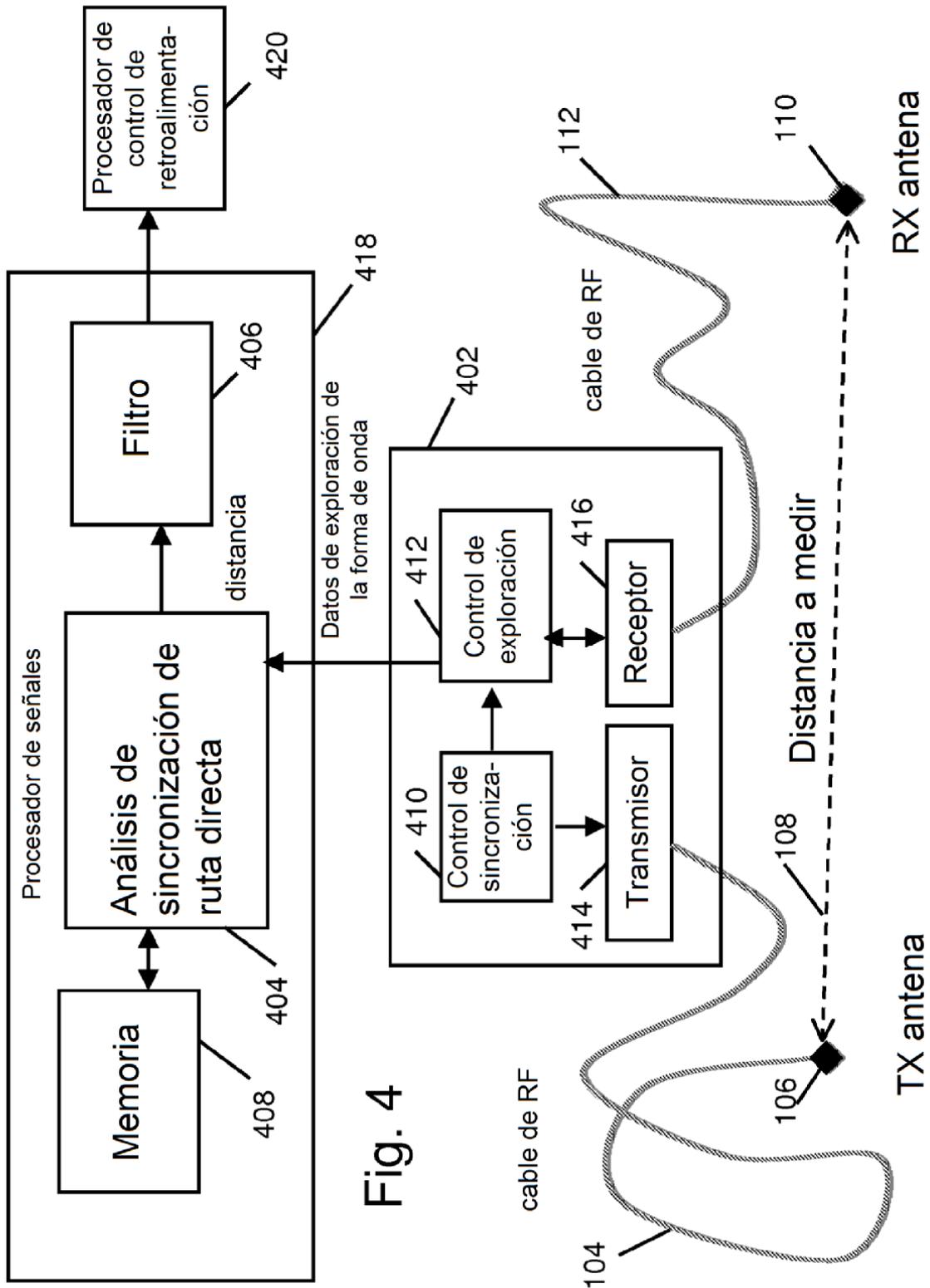


Fig. 4

Fig. 5A

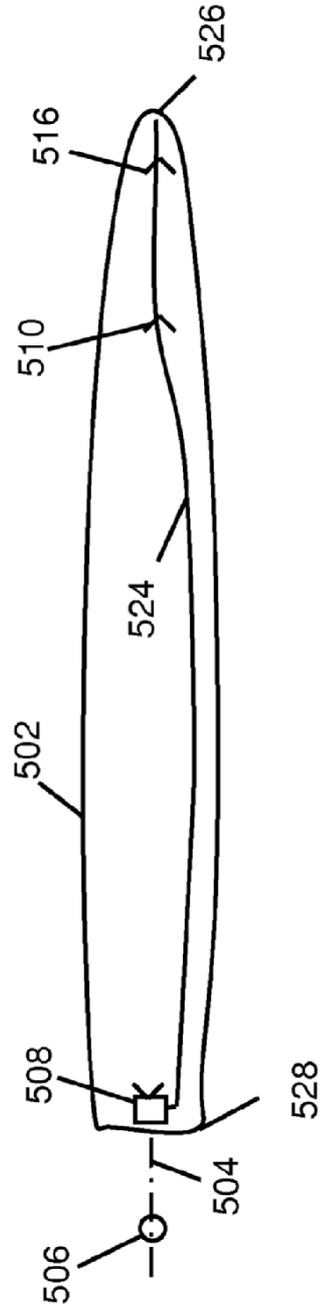
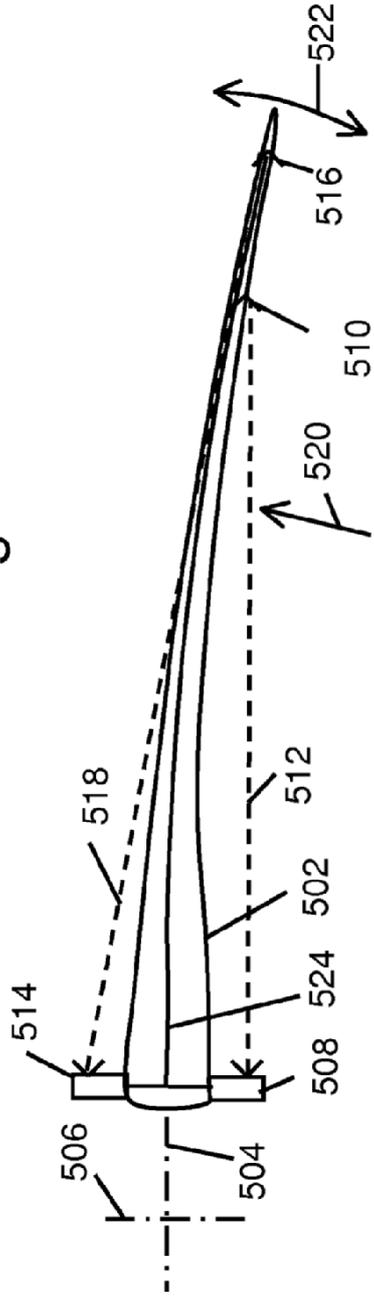


Fig. 5B

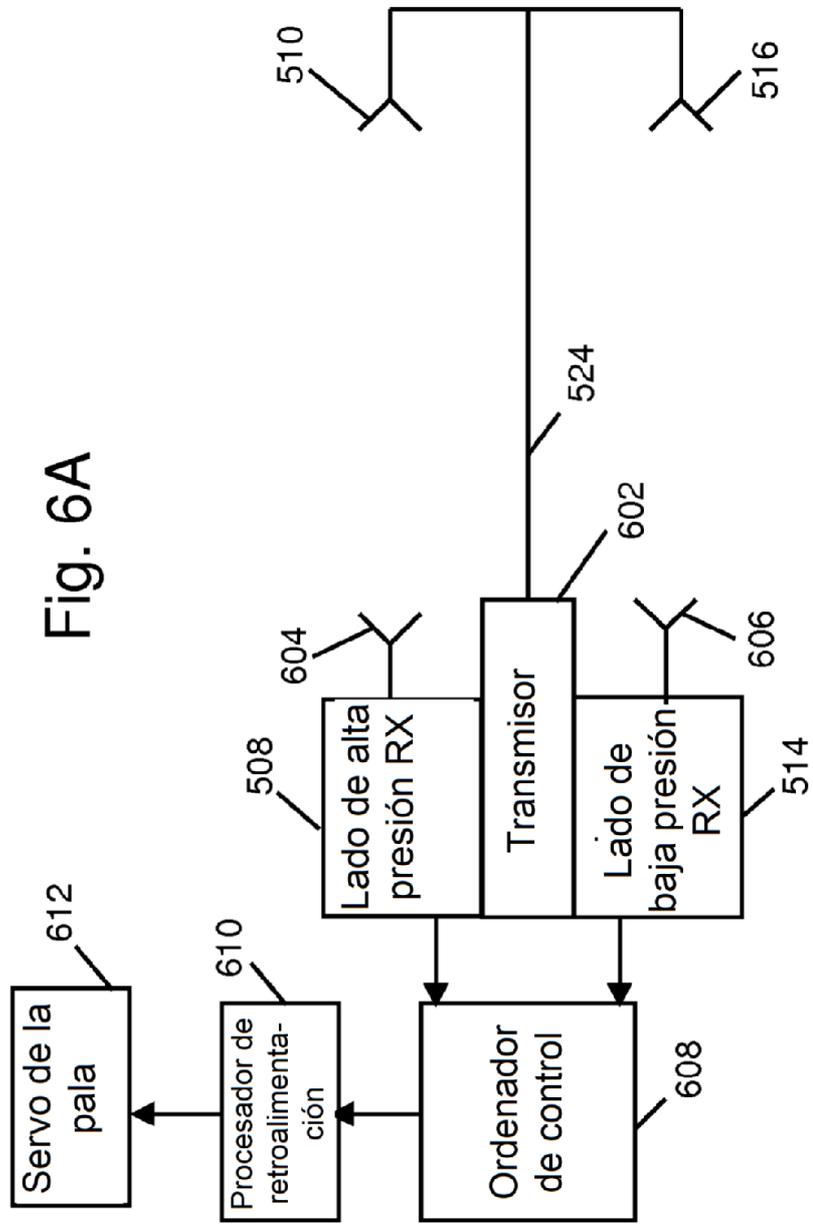


Fig. 6B

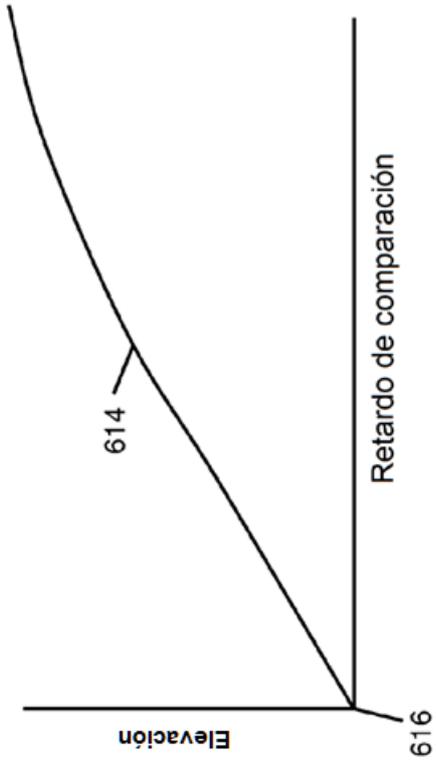


Fig. 7

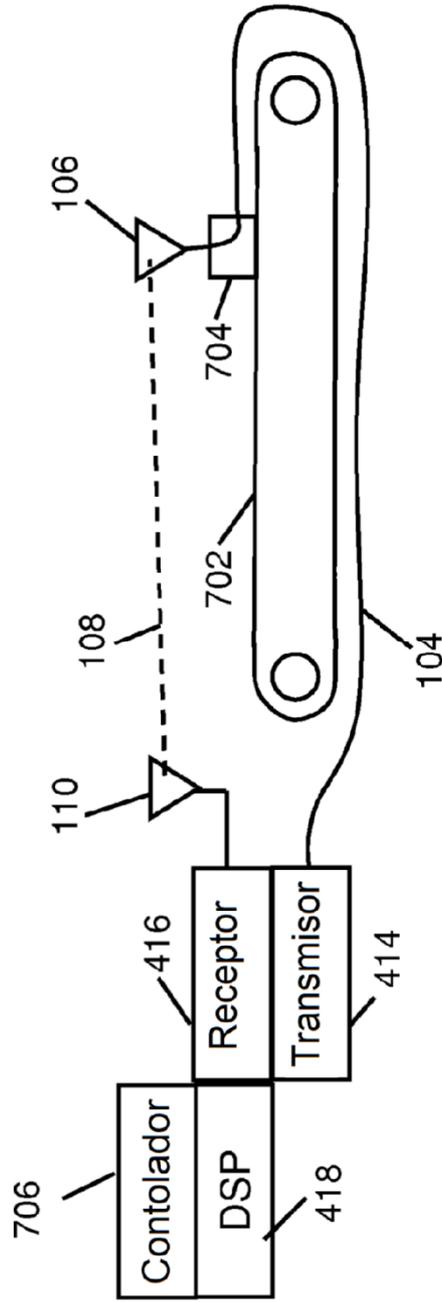


Fig. 8

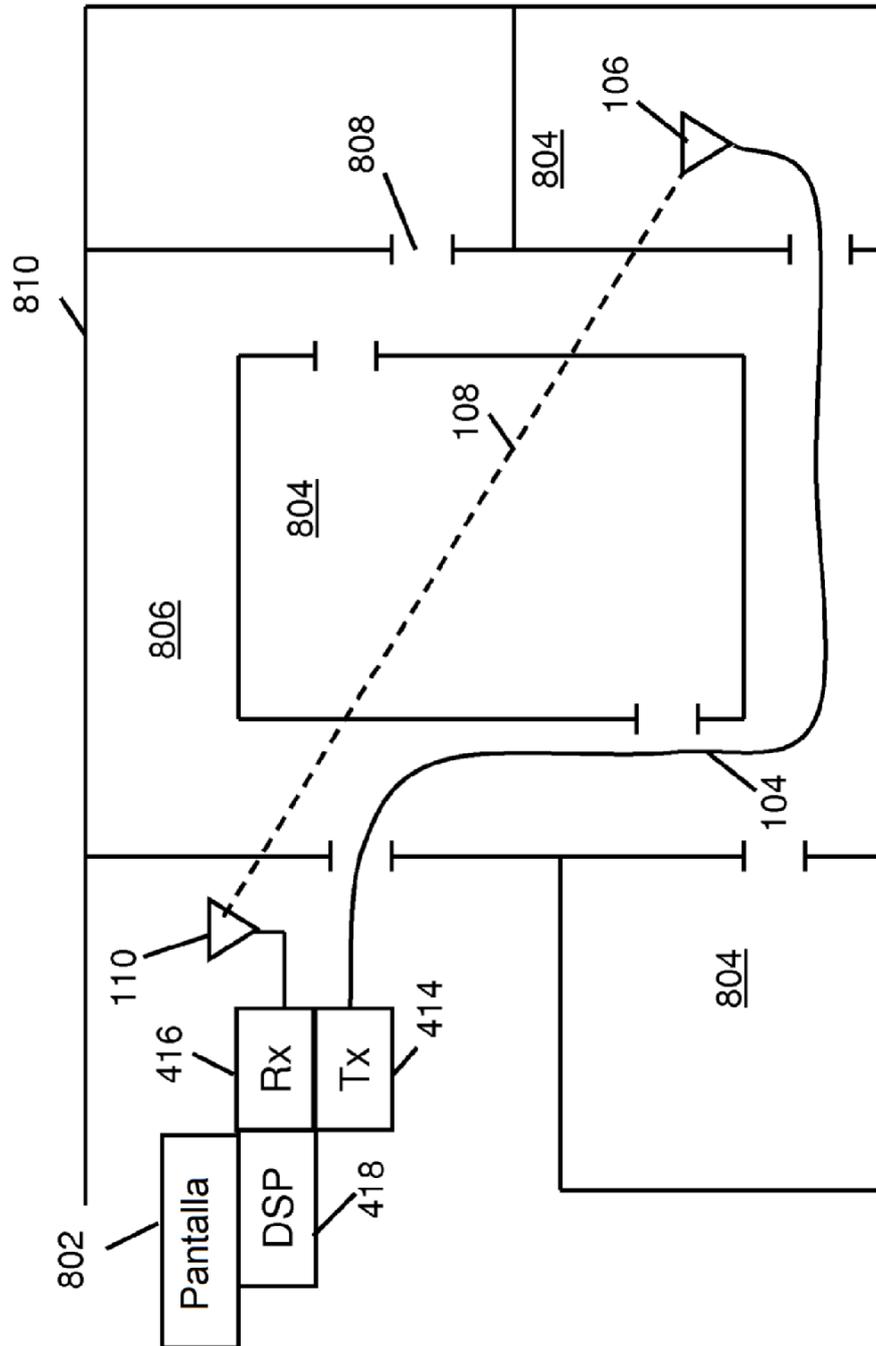


Fig. 9

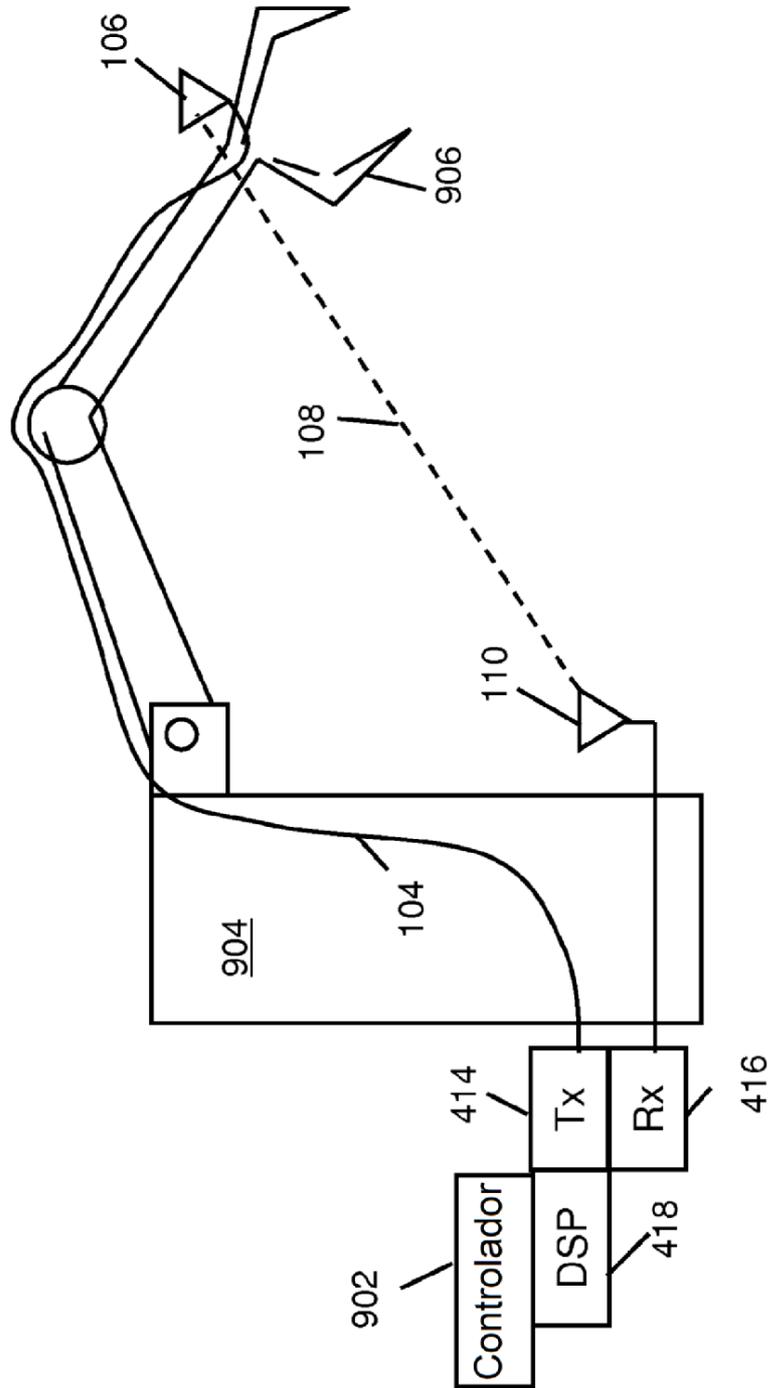
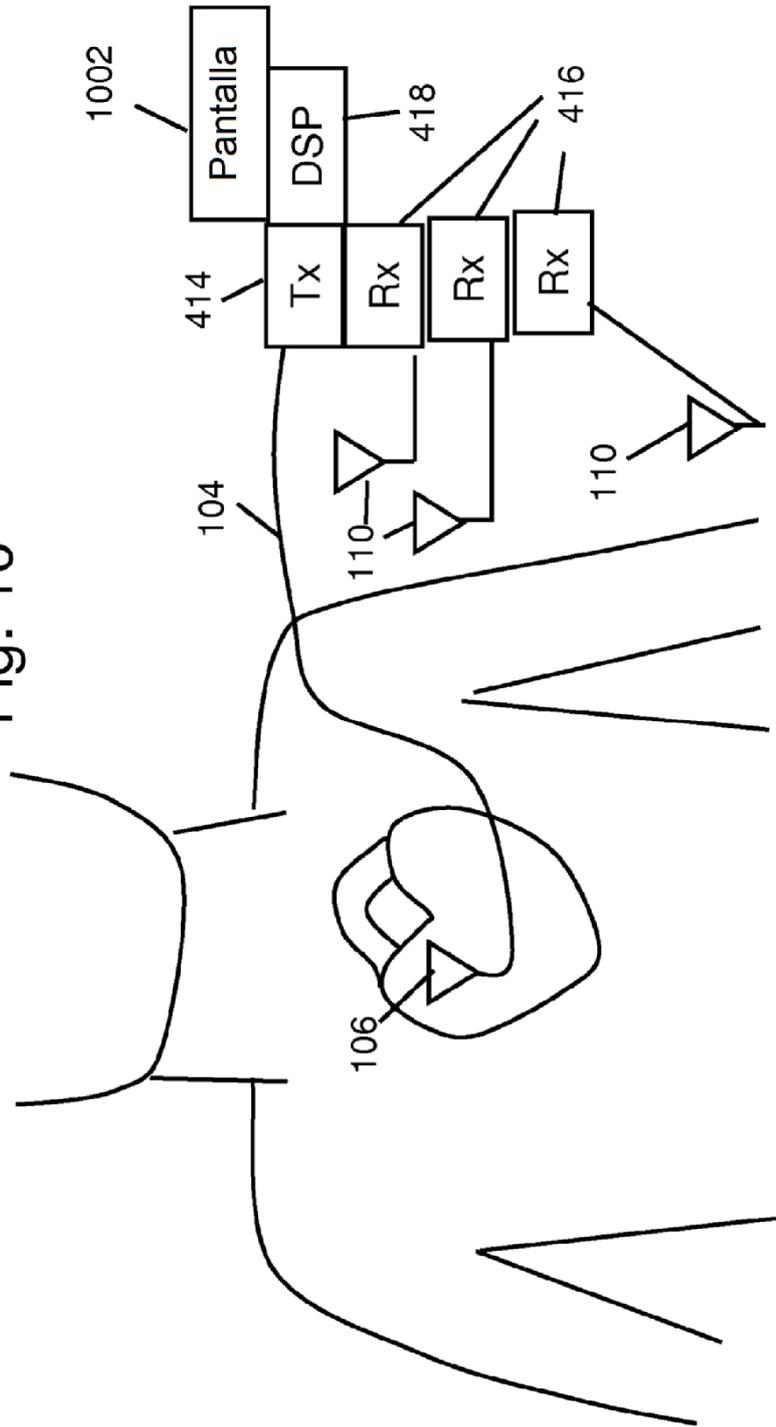


Fig. 10



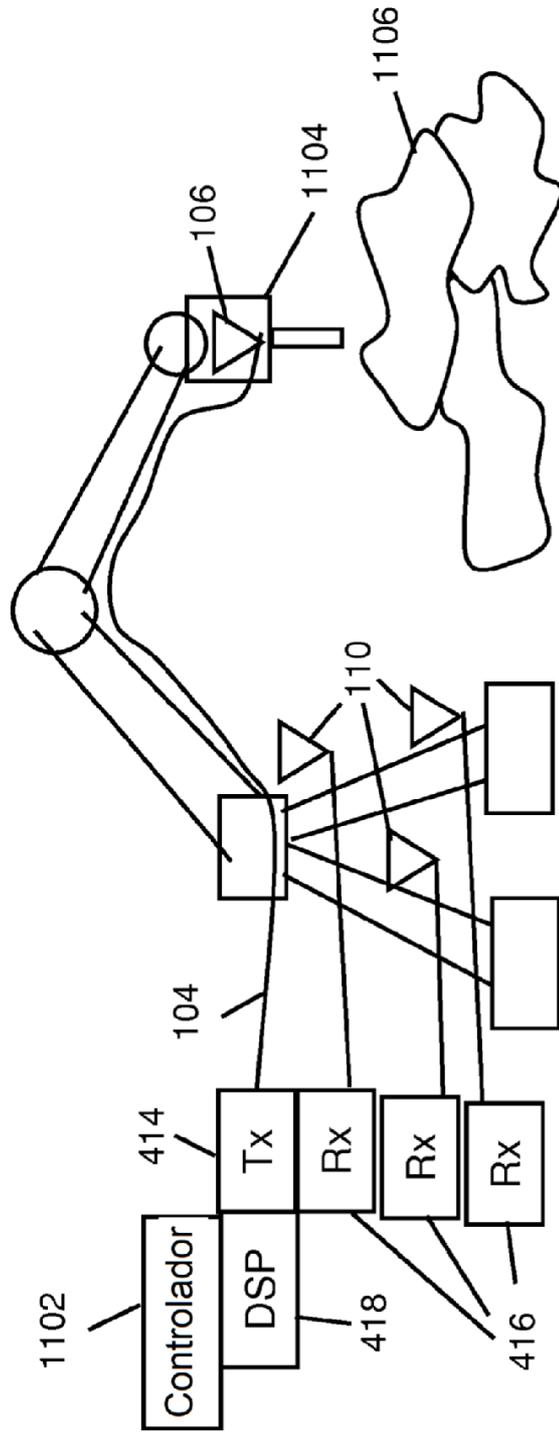


Fig. 11

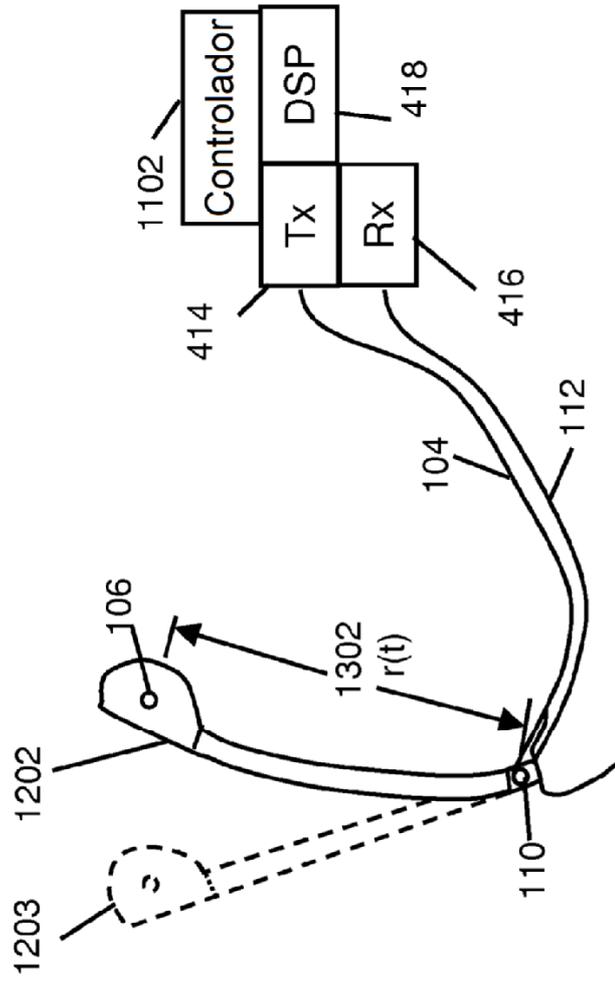


Fig. 13

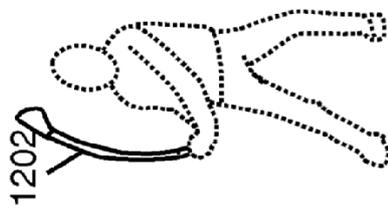


Fig. 12

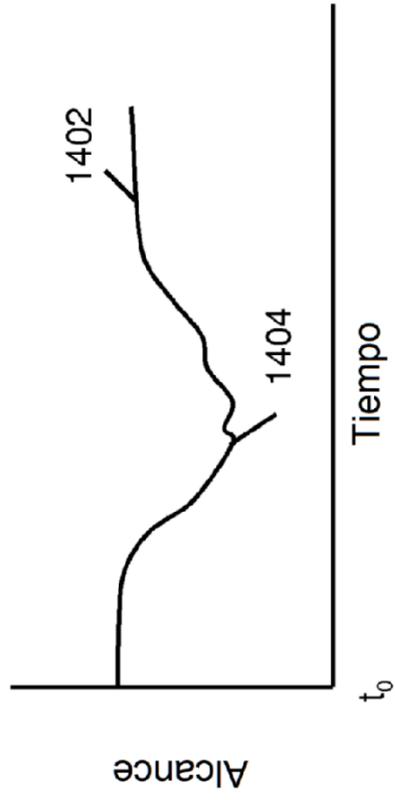


Fig. 14

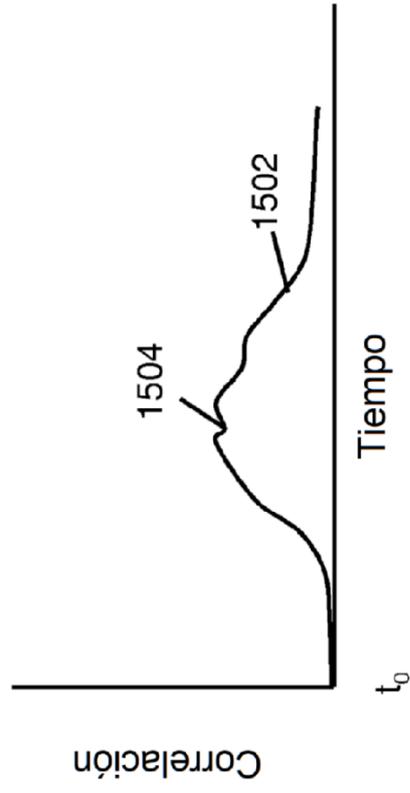


Fig. 15

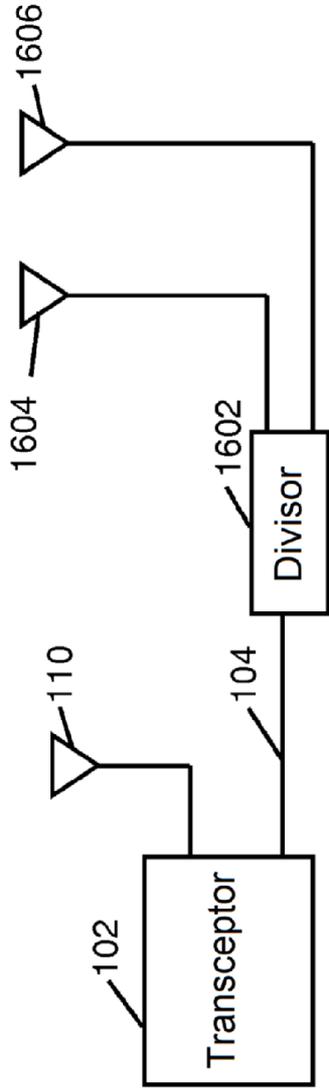


Fig. 16

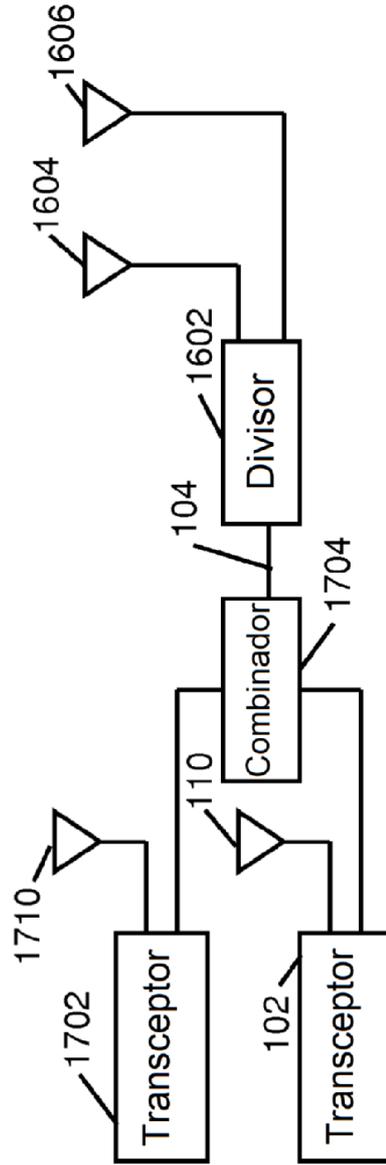


Fig. 17

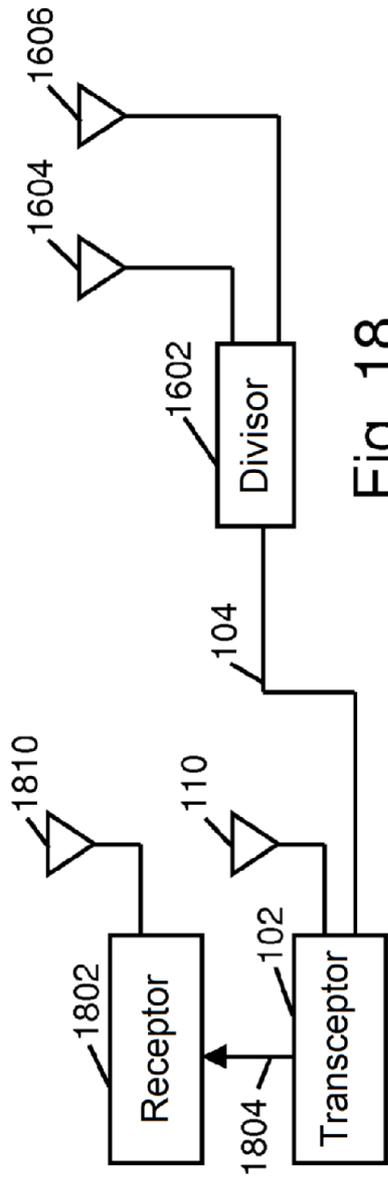


Fig. 18

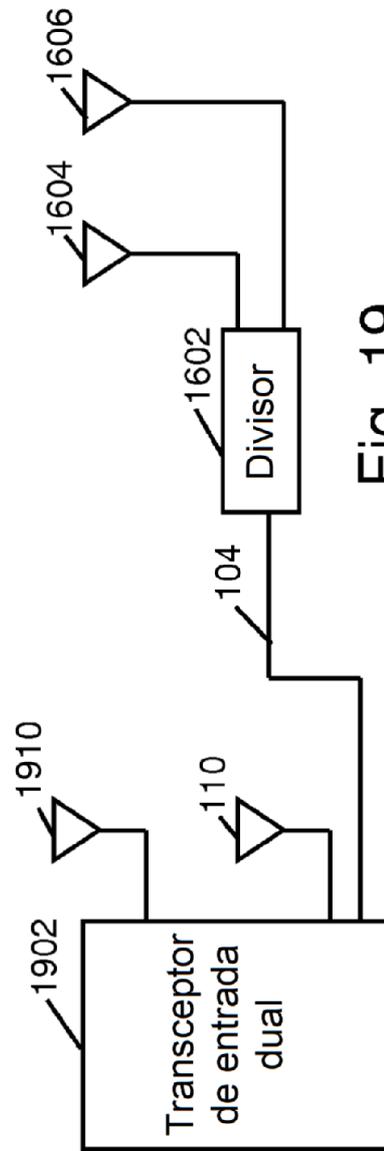


Fig. 19

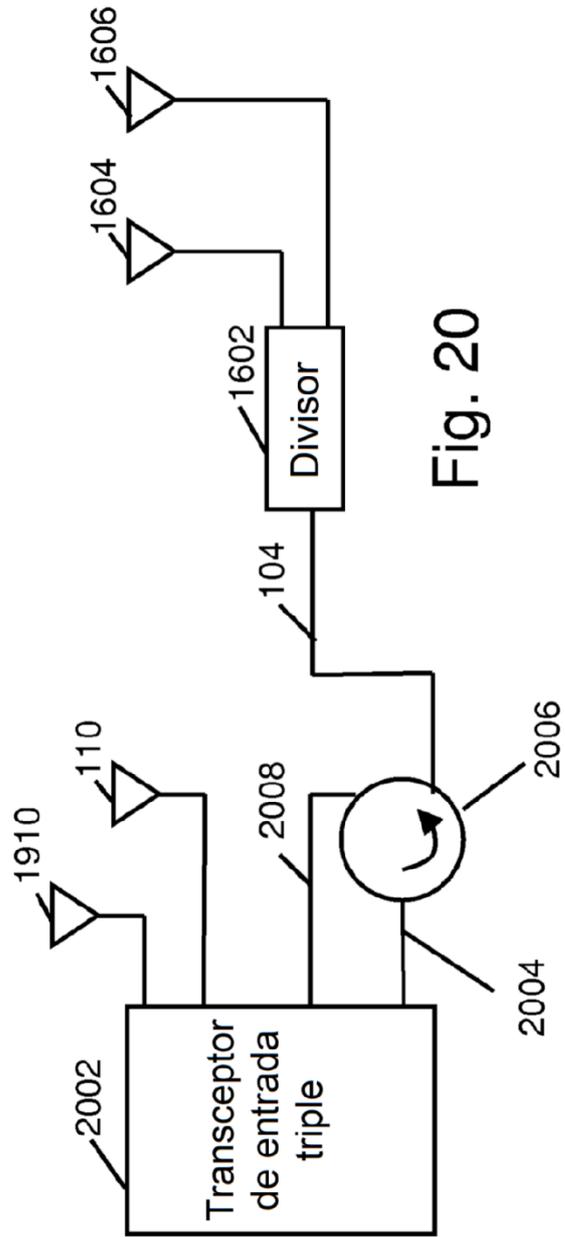


Fig. 20