

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 374 684**

51 Int. Cl.:  
**G01S 13/90** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **08170468 .6**  
96 Fecha de presentación: **02.12.2008**  
97 Número de publicación de la solicitud: **2194400**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **09.06.2010**

54 Título: **UN SISTEMA DE VIGILANCIA QUE COMPRENDE UNA ANTENA DE RADAR MONTADA SOBRE UN ASPA DE UN AEROGENERADOR.**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**21.02.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**21.02.2012**

73 Titular/es:  
**THALES NEDERLAND B.V.  
ZUIDELIJKE HAVENWEG 40  
7550 GD HENGELO, NL**

72 Inventor/es:  
**Hol, Willem Andries;  
Peerdeman, Ton y  
Erkocevic-Pribic, Radmila**

74 Agente: **Carpintero López, Mario**

**ES 2 374 684 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

Un sistema de vigilancia que comprende una antena de radar montada sobre un aspa de un aerogenerador

La presente invención se refiere a un sistema de vigilancia que comprende una antena de radar montada sobre un aspa de un aerogenerador. La invención es más particularmente aplicable al dominio de la vigilancia.

5 Algunos sistemas aseguran la vigilancia de grandes áreas aéreas/terrestres/marítimas con el propósito de detectar objetos tales como aeronaves, barcos o vehículos, tanto si se están movimiento como si no. Básicamente pueden consistir de una red de sistemas de radar. Aunque las técnicas existentes se enfocan sobre la determinación precisa del intervalo, es decir relativamente la distancia desde los objetos detectados al radar, es un tema pendiente la mejor estimación de la distancia entre los objetos detectados, el llamado "intervalo transversal". En realidad, los sistemas de vigilancia existentes proporcionan una resolución del intervalo cruzado bastante baja.

Las técnicas del Radar de Apertura Sintética (SAR) se han usado en el pasado en un intento de estimar el intervalo transversal entre objetos estáticos para la formación de imágenes de grandes áreas de terreno por el uso de radares en movimiento. En estas técnicas, la llamada "franja" es el área en el cual puede estimarse el intervalo transversal entre dos objetos.

15 Klausling y Keydel desvelaron un SAR rotatorio (ROSAR) montado sobre las hélices rotatorias de un helicóptero para la formación de imágenes del terreno ("Viabilidad del SAR con antenas rotatorias", 1990, IEEE Conferencia de Radar Internacional, páginas 51 – 56). Para Klausling y Keydel, la franja es un área con forma de anillo iluminada por el haz del radar si el helicóptero vuela en una posición estacionaria. Klausin y Keydel también desvelaron un algoritmo adaptado a la franja con forma de anillo. Un gran inconveniente es que es difícil para un helicóptero volar en una localización estacionaria real.

Soumekh desveló un SAR circular (CSAR) montado bajo un aeroplano volando en círculo para la formación de imágenes del terreno ("Formación de imágenes de Reconocimiento con un SAR Circular Plano Inclinado", 1996, IEEE Operaciones sobre el Procesamiento de Imágenes V5 / Nº 8, páginas 1252 – 1265). Para Soumekh, la franja es un área con forma de disco iluminado por el haz del radar si el aeroplano siempre vuela en el mismo círculo. Soumekh también desveló un algoritmo adaptado para la franja con forma de disco. Un gran inconveniente es que es difícil volar en un círculo real a una altitud y velocidad constante.

Desafortunadamente, ninguna de estas soluciones existentes está adaptada para asegurar la vigilancia de una gran área, ni está adaptada para proporcionar una vigilancia permanente, ni está adaptada para estimar con precisión el intervalo transversal entre objetos separados en la dimensión vertical, tales como las aeronaves.

30 La solicitud de patente US 2008/0260531 A1 desvela un procedimiento para la regulación de una instalación de energía eólica.

Es el objetivo de la presente invención proporcionar un sistema de vigilancia adaptado para grandes áreas aéreas/marítimas/terrestres con una alta resolución del intervalo transversal, que puede usarse para superar al menos algunos de los inconvenientes descritos anteriormente. De este modo, la presente invención propone básicamente montar una antena de SAR sobre un aspa de un aerogenerador, llamado a continuación "SAR de aerogenerador" de acuerdo con la invención, de modo que se mejora la resolución del intervalo transversal en azimut y elevación entre objetivos de aire, tierra y mar. Esto está motivado por el número en aumento de aerogeneradores junto con sus convenientes alturas y movimiento circular conocido. Otra razón es que los aerogeneradores están disponibles en las áreas que necesitan el reconocimiento y vigilancia en aplicaciones de seguridad y/o militares. En su forma más general la invención propone un sistema de vigilancia para la detección de objetivos, comprendiendo el sistema una antena de radar montada sobre un aspa de un aerogenerador.

En una realización preferida, el sistema puede comprender medios para aplicar una técnica de radar de apertura sintética cuando gira el aspa, la franja del radar de apertura sintética así formada es un círculo en un plano vertical.

45 Por ejemplo, el radar puede ser un radar de Onda Continua de Frecuencia Modulada (FMCW) o un radar de pulso pulsando una señal con incremento de frecuencia.

Ventajosamente, la fase del eco recibido cuando se refleja la forma de onda por los objetivos en la proximidad de la franja puede formar una función de Green, comprendiendo el sistema medios para la aplicación del algoritmo  $\omega$ -k con la transformada de Fourier de la función de Green, de modo se establece una imagen de intervalo transversal que contiene los objetivos y el azimut y la elevación estimados desde la antena a cada uno de los objetivos. El sistema puede comprender medios para calcular, en base al azimut y la elevación para cada uno de los objetivos, el intervalo transversal entre objetivos.

55 Convenientemente, puede montarse una antena de radar sobre cada una de las aspas del aerogenerador o sobre cada una de las aspas de cada uno de los aerogeneradores de una instalación de aerogeneradores o puede montarse sobre cada una de las aspas de cada uno de los aerogeneradores localizados en el borde de la instalación de aerogeneradores.

De este modo, una ventaja proporcionada por la presente invención es que hace posible construir fácilmente un sistema de vigilancia permanente de un área muy grande, basado en el número de instalaciones de aerogeneradores existentes. El área observada puede extenderse a la misma alta tasa que el número de instalaciones de aerogeneradores. Además, la franja es vertical, posibilitando de este modo estimar el intervalo transversal entre objetos separados en la dimensión vertical, mientras que casi simultáneamente posibilitan la estimación del intervalo horizontal desde el aerogenerador a los objetivos en virtud de un procesamiento normal "no SAR". El intervalo transversal mejorado entre objetivos también significa mejorar la clasificación de objetivos.

Ejemplos no limitativos de la invención se describen a continuación con referencia a los dibujos adjuntos en los que:

- la figura 1 ilustra esquemáticamente la geometría de un radar SAR de ejemplo de acuerdo con la invención;
- la figura 2 ilustra esquemáticamente un esquema de bloques de ejemplo de acuerdo con la invención implementada en un radar de pulsos.

En las figuras, se asignan signos con la misma referencia a los mismos elementos.

La figura 1 ilustra esquemáticamente la geometría de un SAR de un aerogenerador de ejemplo de acuerdo con la invención. El conocimiento del movimiento relativo entre la antena y el objetivo es esencial en las técnicas SAR. Sin embargo, puede ser desconocido a priori o determinarse pobremente especialmente con objetivos no cooperantes. En tal sistema de radar de acuerdo con la invención, el movimiento de la antena es conocido y puede usarse para mejorar la resolución, especialmente en azimut y elevación. De este modo, la técnica SAR puede mejorar la resolución del intervalo transversal ya que la señal recibida revela los intervalos transversales tanto de azimut como de elevación.

En esta primera realización, puede montarse una única antena 1 sobre una única aspa 2 de un aerogenerador. Siendo L la longitud del aspa y estando el eje de rotación de las aspas del aerogenerador en (0, 0, 0), la antena 1 gira con la velocidad radial  $\Omega$  en un plano vertical x-z desde (0, 0, L) a (Lsen $\Omega$ t, 0, Lcos $\Omega$ t) en el instante t. Un objetivo 3 se traslada con una velocidad constante v en cualquier dirección desde una posición inicial T (x<sub>0</sub>, y<sub>0</sub>, z<sub>0</sub>) localizada en el azimut  $\phi$ , elevación  $\Phi$  e intervalo R desde (0, 0, 0). Está localizado en un intervalo inclinado r(t) desde la antena 1 en el instante t. En el intervalo del objetivo, la franja con forma de disco S puede iluminarse cuando el aspa 2 gira. Como se detalla más adelante, la geometría de este sistema de SAR de ejemplo de acuerdo con la invención posibilita el establecimiento de una imagen de intervalo transversal p(x, z) que contiene el objetivo 3 así como los otros objetivos 4, 5, 6 y 7 en la franja S. Convenientemente, la imagen de intervalo cruzado p(x, z) puede establecerse a partir de las mediciones de la señal de radiofrecuencia (RF) recibida S<sub>r, RF</sub>(t), en base a las propiedades de Fourier de la función de Green en coordenadas polares por ejemplo. En realidad, si S<sub>RF</sub>(t) es una señal transmitida, su eco S<sub>r, RF</sub>(t) desde un objeto/área con la función de reflectividad  $\rho(x, z)$  en el plano x-z del intervalo transversal en el intervalo inclinado r(t) contiene los intervalos transversales iniciales (x<sub>0</sub>, z<sub>0</sub>). La estimación de la función de reflectividad  $\rho(x, z)$  en esas posiciones iniciales puede ser factible con una resolución conveniente en base a un algoritmo conocido fundamentalmente como algoritmo  $\omega$ -k que no usa ninguna aproximación en el intervalo r(t).

La figura 2 ilustra esquemáticamente un esquema de bloques de ejemplo de acuerdo con la invención, implementado como software en un radar de pulsos con la Compresión de Pulsos (PC) y Transformada Rápida de Fourier (FFT). El radar FMCW con conversión hacia abajo por el barrido global transmitido también puede ser aplicable. Por ejemplo, en el radar de pulsos, la forma de onda puede elegirse para que sea una señal con incremento de frecuencia. En una primera etapa, la señal recibida de RF S<sub>r, RF</sub>(t) se convierte hacia abajo en frecuencia a una señal S<sub>r</sub>(t) por una portadora principal f<sub>c</sub>. A continuación puede aplicarse el procesamiento de PC a la señal S<sub>r</sub>(t) para estimar el intervalo r(t) y puede aplicarse el procesamiento de FFT para estimar el efecto Doppler. Para una resolución mejorada del azimut y la elevación, este procesamiento básico de la señal de radar puede extenderse ventajosamente con un procesamiento del SAR del aerogenerador de acuerdo con la invención. En realidad, la fase de la señal recibida S<sub>r, RF</sub>(t) que contiene el intervalo inclinado r(t) puede ser típica de una función de Green. La propia función y su transformada de Fourier son funciones circularmente simétricas, lo que posibilita una separación de las contribuciones del intervalo transversal (x, z) a partir de las contribuciones desde el intervalo de tierra y. Este algoritmo está basado en los principios de los algoritmos del SAR conocidos fundamentalmente como algoritmo  $\omega$ -k pero también llamado algoritmo de migración de intervalos o reconstrucción del frente de onda. Tales algoritmos del SAR no hacen ninguna aproximación en el intervalo r(t), pero usan la fase global de la señal recibida.

En una realización adicional, puede montarse una antena sobre cada una de las aspas del aerogenerador.

En otra realización más, puede construirse una red de radar final a partir de una instalación de aerogeneradores, con una antena montada sobre cada una de las aspas de cada uno de los aerogeneradores de la instalación. De modo que, para limitar las posibles interferencias, las antenas pueden montarse sobre las aspas de los aerogeneradores localizados en el borde de la instalación.

Una ventaja adicional proporcionada por la presente invención en cualquiera de sus aspectos es que es una solución eficaz en costes. No requiere ningún medio particular para controlar la velocidad de rotación de las aspas, que ya están reguladas a una velocidad constante. Sólo tienen que montarse las antenas sobre las aspas, no un

5 sistema de radar completo. De este modo, el emisor, el receptor y las unidades de procesamiento pueden estar alojadas en la base del aerogenerador. Además, cuando el viento no es lo suficientemente fuerte para mantener las aspas en rotación, las múltiples antenas montadas sobre las aspas de un aerogenerador pueden usarse para aplicar una técnica de fusión de datos, tal como, por ejemplo, la interferometría. Finalmente, no debería subestimarse que es una solución verde, ya que no requiere el consumo de mucho combustible para hacer volar aviones o helicópteros.

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Un sistema de vigilancia para la detección de objetivos (3, 4, 5, 6, 7), comprendiendo el sistema una antena de radar (1) montada sobre un aspa (2) de un aerogenerador, estando el sistema **caracterizado porque** comprende medios para aplicar una técnica de radar de apertura sintética cuando el aspa (2) gira, siendo la franja (S) del radar de apertura sintética formada de este modo, con forma de disco en un plano vertical.
2. Un sistema de vigilancia de acuerdo con la Reivindicación 1, **caracterizado porque** el radar es un radar de pulsos.
3. Un sistema de vigilancia de acuerdo con la Reivindicación 1, **caracterizado porque** el radar es un radar de Onda Continua de Frecuencia Modulada.
- 10 4. Un sistema de vigilancia de acuerdo con la Reivindicación 2, **caracterizado porque** la forma de la onda pulsada por el radar es una señal con incremento de frecuencia.
- 15 5. Un sistema de vigilancia de acuerdo con la Reivindicación 4, **caracterizado porque** comprende un medio para aplicar un algoritmo  $\omega$ -k con la transformada de Fourier de una función de Green, de modo que establece una imagen del intervalo transversal ( $p(x, z)$ ) que contiene los objetivos (3, 4, 5, 6, 7) y el azimut y la elevación estimados desde la antena (1) para cada uno de los objetivos.
6. Un sistema de vigilancia de acuerdo con la Reivindicación 5, **caracterizado porque** comprende un medio para calcular, en base al azimut y la elevación de cada uno de los objetivos, el intervalo transversal entre los objetivos (3, 4, 5, 6, 7).
- 20 7. Un sistema de vigilancia de acuerdo con la Reivindicación 1, **caracterizado porque** se monta una antena de radar sobre cada una de las aspas del aerogenerador.
8. Un sistema de vigilancia de acuerdo con la Reivindicación 1, **caracterizado porque** se monta una antena de radar sobre cada una de las aspas de cada uno de los aerogeneradores de una instalación de aerogeneradores.
- 25 9. Un sistema de vigilancia de acuerdo con la Reivindicación 1, **caracterizado porque** se monta una antena de radar sobre cada una de las aspas de cada uno de los aerogeneradores localizados en un borde de un parque de aerogeneradores.

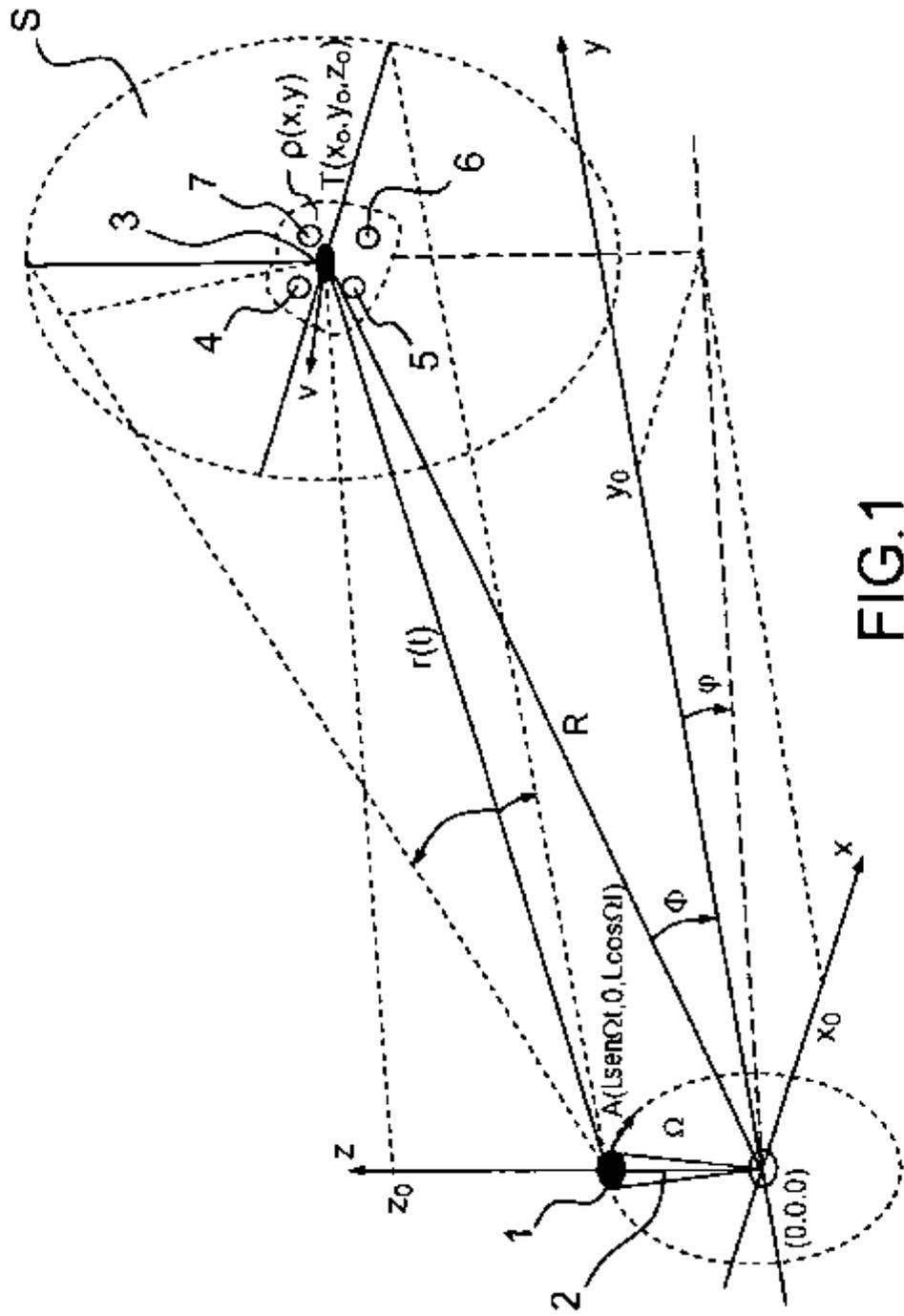


FIG.1

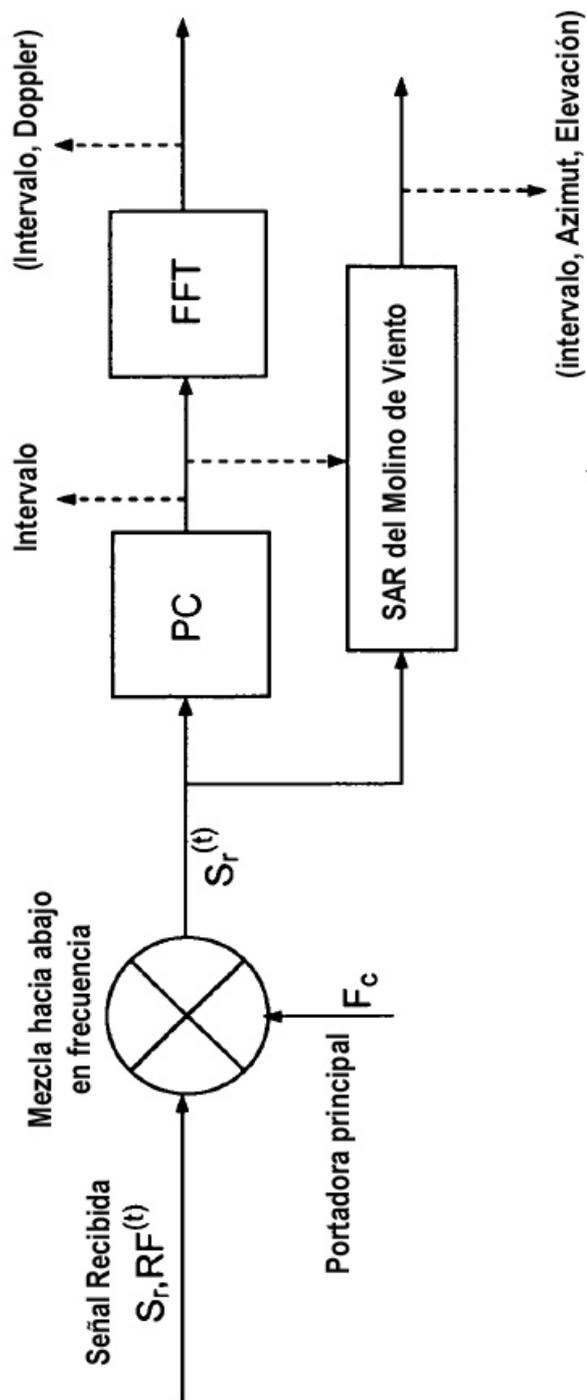


FIG.2