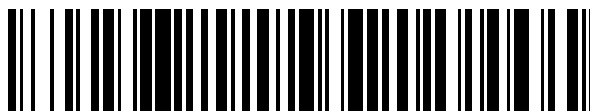


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 426 972**

51 Int. Cl.:

G01S 7/292 (2006.01)

G01S 13/22 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.02.2010** **E 10716742 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.06.2013** **EP 2404190**

54 Título: **Procedimiento para la detección de centrales eólicas por medio de una instalación de radar**

30 Prioridad:

06.03.2009 DE 102009012064

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

28.10.2013

73 Titular/es:

EADS DEUTSCHLAND GMBH (100.0%)
Willy-Messerschmitt-Strasse
85521 Ottobrunn, DE

72 Inventor/es:

WEISS, ANDREAS

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 426 972 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para la detección de centrales eólicas por medio de una instalación de radar

La invención se refiere a un procedimiento para la detección de centrales eólicas por medio de una instalación de radar de acuerdo con las características del preámbulo de la reivindicación 1 de la patente.

- 5 Una central eólica (WKA) convierte la energía cinética del viento en energía eléctrica. Por muchos conceptos diferentes, se han implantado instalaciones con eje de giro horizontal, que siguen el viento. La mayoría de las veces están constituidas por una torre de acero cilíndrica con un cubo en el extremo, desde el que parten tres rotores formados aerodinámicamente. La altura de la torre, la altura del cubo y la longitud de los rotores varían según la potencia de la turbina o bien el lugar de instalación. A continuación se muestra un resumen de las dimensiones típicas:

Categoría	1,5	3	5
Longitud del rotor (m)	38	45	62
Altura del cubo (m)	60-110	80-105	100-120
Altura total (m)	98-148	125-150	162-182
Velocidad de rotación (rpm)	17	16	12
Velocidad de las puntas de las palas (m/s)	68	76	79

La velocidad máxima de los rotores se mide en las puntas de los rotores. Se calcula según la fórmula:

$$u = \lambda \cdot v$$

- 15 con

u : velocidad en la punta del rotor

λ : número de revoluciones de régimen rápido

V : velocidad del viento

- 20 El número de revoluciones de régimen rápido λ depende del tipo de WKA y está entre 7 y 8 en las instalaciones empleadas normalmente hoy en día. Las centrales eólicas modernas trabajan solamente en el intervalo a partir de un mínimo hasta una velocidad máxima del viento. Además, son giradas por medio de servo motores en la posición óptima con relación a la dirección del viento y están reguladas por el número de revoluciones, es decir, que la velocidad de rotación se mantiene aproximadamente constante y sólo se modifica continuamente.

En principio, se conocen las siguientes particularidades de las WKA:

- 25 a) Fija estacionaria

Una central eólica se encuentra siempre en la misma celda de rango (x, y), es decir, que la distancia y el ángulo azimutal son constantes.

b) Regulación del número de revoluciones de los rotores

- 30 Las WKA modernas solamente modifican el número de revoluciones de los rotores de forma continua, es decir, que no existen modificaciones bruscas de la velocidad del rotor y, por lo tanto, del desplazamiento de la frecuencia Doppler.

c) Campo de aplicación constante

Las WKA modernas necesitan para el funcionamiento una velocidad mínima del viento y se desconectan a partir de

una velocidad máxima del viento. Esto significa que la velocidad del rotor, que depende de la velocidad del viento, se mueve dentro de una zona definida.

d) Limitaciones constructivas

5 La distancia mínima entre instalaciones individuales está predeterminada tanto técnicamente como también a través de efectos físicos. Fenómenos como efectos de sombras del viento así como medidas para la reducción al mínimo del impacto de pájaros, carga de ruido, etc. predetermina una cierta distancia mínima entre centrales eólicas individuales.

10 Las WKAs se caracterizan, además, por una sección transversal reflectante grande (RCS). La sección transversal reflectante en la banda-S (2,7 – 2,9 GHz) y en la banda-L (aproximadamente 1,3 GHz) de las turbinas WKA habituales actualmente puede ser hasta 30.000 m². Las palas del rotor, consideradas individualmente, pueden alcanzar un valor punta de hasta 300.000 m². En comparación con ello, un avión comercial de varios de varios chorros tiene una RCS de 5 a 20 m². Los valores RCS mencionados anteriormente para centrales eólicas designan valores punta, que dependen de la posición de las palas del rotor así como del ángulo dimensional del radar. Por lo tanto, la RCS de la central eólica se modifica de manera constante y brusca [C.A. Jackson, Windfarm Characteristics and their Effect on Radar Systems, Proc. International Conference on Radar Systems, Edimburgo, Octubre 2007].

15 La modificación constante y brusca de la RCS de una WKA genera el efecto del llamado 'destello'. Esto significa que emergen señales de eco de forma totalmente aleatoria. Si se agrupan centrales eólicas en un parque eólico, se producen en esta zona destellos aleatorios, independientes unos de los otros. Estos ecos que aparecen de forma aleatoria se encuentran en la misma zona del desplazamiento Doppler, en el que se encuentran también muchos objetivos posibles para el radar. Este "destello" conduce a una serie de problemas:

a) Interferencias (Clutter):

Número elevado de detecciones en la zona de parques eólicos, provocadas por los ecos de los rotores de WKA.

b) Dessensibilización:

25 Probabilidad reducida de la detección de un objeto aéreo sobre o en la proximidad de parques eólicos, tanto en el azimut como también en la dirección de la distancia.

c) Pérdida de trayectorias

No es posible el seguimiento de un objeto en la zona de parques eólicos.

Se conoce a partir del documento US 2008/11131 A1 un procedimiento para la detección de centrales eólicas por medio de una instalación de radar.

30 El cometido de la invención es indicar un procedimiento, con el que se puede detectar una central eólica de una manera fiable evitando los inconvenientes del estado de la técnica.

Este cometido se soluciona a través del procedimiento de acuerdo con las características de la reivindicación de patente vigente 1. Las formas de realización ventajosas de la invención son objeto de reivindicaciones dependientes.

El procedimiento de acuerdo con la invención comprende las siguientes etapas del procedimiento:

- 35 a. se emiten de forma sucesiva en el tiempo un número N de secuencias B_x predeterminables, con x = 1,...,N, de K impulsos de emisión modulados, respectivamente, con una frecuencia predeterminable de la secuencia de impulsos,
- b. se utiliza un número predeterminable de frecuencias de la secuencia de impulsos,
- 40 c. después de cada secuencia enviada, se conmuta cíclicamente a otra frecuencia de la secuencia de impulsos,
- d. los impulsos de emisión reflejados por un objeto son recibidos por la instalación de radar y son procesados de tal manera que aparecen impulsos de recepción correspondientes a los impulsos de emisión, siendo recibidos por cada impulso de emisión una pluralidad de R impulsos de recepción,
- 45 e. a partir de los impulsos de recepción, que pertenecen a secuencias B_x de impulsos de emisión modulados, se calcula por medio de medición del tiempo de propagación de la señal, la distancia con relación al objeto, y se genera una matriz de distancias Doppler con R líneas y N*K columnas,

- f. en una zona azimutal se realizan cíclicamente una pluralidad M de procesos de medición en una dirección azimutal, siendo emitidos en cada proceso de medición N secuencias B_x de impulsos de emisión modulados en la dirección azimutal respectiva, y siendo generada una matriz de distancias Doppler para cada proceso de medición M,
- 5 g. los valores de exploración de Z, con $Z = 2 \dots N$, las secuencias B_N de impulsos de emisión modulados desde M procesos de medición son yuxtapuestos y procesados por medio de un término de corrección predeterminable, siendo calculado por medio de un Estimador de Máxima Probabilidad una oscilación armónica con la desviación cuadrática mínima con respecto a los valores de exploración,
- 10 h. a través de la evaluación del Estimador de Máxima Probabilidad, a partir de la matriz de distancias de Doppler con R líneas y $N \times K$ columnas se calcula una matriz de resultado con R líneas y N/Z columnas, siendo conocidas para cada línea la intensidad de la señal, la fase y la frecuencia de Doppler,
- i. después de las etapas del procedimiento a) – h) se generan de forma sucesiva en el tiempo dos matrices de resultados E1, E2, que se comparan entre sí, siendo marcada una celda de distancias de Doppler como lugar de emplazamiento de una central eólica, cuando
- 15 i. la intensidad de la señal de una celda de distancias de Doppler en ambas matrices de resultado E1, E2 se encuentra por encima de un valor umbral predeterminable, y
- ii el desplazamiento de la frecuencia Doppler en una celda de distancias de Doppler en ambas matrices de resultados E1, E2 se encuentra dentro de un intervalo de valores habitual para centrales eólicas y
- 20 iii. la diferencia de las frecuencias de Doppler en una celda de distancias de Doppler en ambas matrices de resultados E1, E2 está por debajo de un valor umbral predeterminado.

El procedimiento de acuerdo con la invención parte de una detección por medio de un radar de impulsos, de manera conveniente de un radar de búsqueda panorámica, que se gira totalmente alrededor de su eje vertical y que explora el entorno en busca de objetos. En este caso, se ilumina un intervalo de ángulos espaciales predeterminados una vez por cada revolución. Pero un radar de búsqueda panorámica puede ser también un Radar de Matrices de Fases, que ilumina cíclicamente un intervalo de ángulos espaciales predeterminado.

La señal de emisión de un radar de impulsos es una secuencia B_x (ráfagas), con $x = 1, \dots, N$ de impulsos individuales, que están modulados sobre una oscilación de la portadora de alta frecuencia. Una ráfaga puede comprender, por ejemplo, 8 impulsos. Los impulsos son irradiados a través de la antena del radar y se distancian desde el radar. Si inciden sobre un objetivo, son reflejados por él en diferentes direcciones, entre otras, de retorno al radar. Allí se recibe su eco de nuevo después de un cierto tiempo. El eco es una copia de la señal de emisión, que se diferencia en la amplitud y la frecuencia del original. Las diferencias, especialmente el tiempo de propagación y el desplazamiento de Doppler, entre la señal de emisión y el eco recibido permiten sacar conclusiones sobre la posición y la velocidad del objetivo.

Para limitar el efecto Aliasing que se produce, es decir, la ambigüedad de la estimación de la frecuencia de Doppler, se varía el tiempo entre la emisión de dos fases (PRI = Intervalo de Repetición del Impulso).

En este caso, durante el cálculo de la distancia del objetivo pueden aparecer ambigüedades perturbadoras de manera conocida en sí. Es decir, que en cada frecuencia de repetición del impulso predeterminable (PRF, "Frecuencia de Repetición del Impulso") existe una zona de univocidad de la distancia. Ésta es tanto menor cuanto más alta se selecciona la PRF. Por otra parte, se necesita una PRF alta (HPRF, "Frecuencia Alta de Repetición del Impulso") para obtener, también en el caso de objetivos que se mueven rápidamente, una zona de univocidad de la velocidad lo mas alta posible. Si en una zona de univocidad de la velocidad alta predeterminable estuviera presente una zona de univocidad de la distancia ampliada grande, entonces se puede utilizar una instalación de radar-HPRF con al menos dos PRFs conmutables. En este caso, en general, con cada emisión de una ráfaga se lleva a cabo un cambio de la PRF, es decir, que en general, se conmuta cíclicamente entre las PRFs utilizadas. A continuación se evalúan los impulsos de eco recibidos que pertenecen a cada PRF y se comparan con los otras PRFs. En el supuesto de que un objetivo sea incidido por los impulsos de varias PRFs diferentes, se puede calcular tanto la velocidad del objetivo como también su distancia en la zona de univocidad de la distancia ampliada.

Una variación de la PRF no sólo es posible de un impulso al siguiente. Así, por ejemplo, en radares con medición de la frecuencia de Doppler, la PRF se mantiene constante para grupos de impulsos, pero se varía también entre grupos diferentes. Un grupo con intervalo constante de las secuencias de impulsos y, por lo tanto, con frecuencia constante de las secuencias de impulsos se designa como secuencia de impulsos o ráfaga. Si se fijan las frecuencias de las secuencias de impulsos en una relación fija entre sí, se habla de un escalonamiento de la frecuencia de las secuencias de impulsos. Estas secuencias de impulsos B_x diferentes se realizan se realizan ahora

en una serie constante. De ello resulta un esquema de exploración, que se repite. Tal repetición se designa como intervalo. A continuación se representa a modo de ejemplo la secuencia de 3 intervalos, estando constituido cada intervalo por 3 ráfagas.

Ráfaga1 Ráfaga2 Ráfaga3 Ráfaga1 Ráfaga2 Ráfaga3 Ráfaga1 Ráfaga2 Ráfaga 3

5 Intervalo 1 Intervalo 2 Intervalo3

El campo observado a través del radar se divide a través del esquema de exploración y a través de la resolución de rango en una matriz. La resolución de rango resulta a partir de los tiempos de propagación de la señal de los impulsos individuales.

Se emite un impulso y se calcula el tiempo de propagación t_L hasta el objetivo y de retorno a partir de

$$t_L = 2 \cdot \frac{R}{c}$$

10

en la que:

c: velocidad de la luz

R: distancia del objetivo.

15

De ello se deduce que a partir del instante de la llegada de la señal del eco, en comparación con el instante de la emisión, se puede calcular la distancia del objetivo, que ha producido el eco. De ello resulta que después de la emisión de un impulso y de la recepción del eco entrante aparece un vector de columnas, siendo realizada la ordenación en las líneas de acuerdo con la distancia calculada. Por ejemplo: en el instante de recepción 20 μ s después de la emisión del impulso, el objeto que ha generado el eco se encuentra aproximadamente a 2997 metros de distancia. El impulso siguiente genera de nuevo un vector de columnas. Si se juxtaponen estos vectores de columnas teniendo en cuenta la dirección azimutal, en la que han sido irradiadas las señales de emisión, se obtiene una matriz azimutal de la distancia.

20

25

De manera conocida, para la evaluación de las señales de eco de los impulsos de recepción modulados, que pertenecen a una secuencia B_x de impulsos de emisión modulados, dentro de un periodo de tiempo de exploración predeterminado en instantes de exploración predeterminados se genera una secuencia $S(B_x)$ de valores de exploración [Mahr y col.]. En instalaciones de radar que iluminan una zona azimutal predeterminada, se realiza en una zona azimutal cíclicamente una pluralidad M de procesos de medición en una dirección azimutal. Con otras palabras, por cada revolución del aparato de radar tiene lugar un proceso de medición en la zona respectiva. La pluralidad M de procesos de medición se refiere, por lo tanto, a la pluralidad de las revoluciones contempladas del aparato de radar sobre la zona azimutal respectiva. En cada proceso de medición (revolución) se emiten N secuencias B_x de impulsos de emisión modulados en la dirección azimutal respectiva. Durante la evaluación de las señales de eco se generan secuencias $S_m(B_x)$, con $m = 1, \dots, M$ de valores de exploración. Estas secuencias de valores de exploración se designan a continuación también como Escaneo.

30

35

En el procedimiento explicado a continuación se utiliza una instalación de radar conocida en sí. Ésta está constituida especialmente por una antena (de radar) para la emisión de señales de emisión por impulsos en una gama de frecuencia (de radar) predeterminable y para la recepción de señales de eco correspondientes. Éstas son mezcladas de manera conocida en sí en una zona de frecuencia intermedia predeterminable y a continuación son desmoduladas, de manera que aparecen impulsos, a partir de los cuales se pueden calcular por medio de una medición del tiempo de propagación tanto la velocidad como también la distancia de uno o varios objetivos. Se conoce a partir del documento EP 0 919 834 B1 una evaluación básica de tales señales de emisión y de recepción, siendo generadas para la detección de objetivos unas matrices de distancias Doppler con un número predeterminable de celdas de distancias Doppler.

40

45

De acuerdo con la invención, se juxtaponen escaneos recibidos, es decir, las secuencias $S_m(B_x)$ de valores de exploración de N secuencias B_N de impulsos de emisión modulados a partir de M procesos de medición y se procesan por medio de un Estimador de Probabilidad Máxima. En el estimador se trata en una forma de realización ventajosa de la invención del algoritmo Sinus-Fit, que se describe en detalle en [Mahr y col.].

En el algoritmo Sinus-Fit se trata de un Estimador de Probabilidad Máxima, que calcula la desviación cuadrática mínima para una oscilación armónica. En el caso de presencia de los valores de exploración $f_n = f(X_n)$ de la oscilación compleja de forma sinusoidal con los parámetros de amplitud A, fase α y frecuencia f, se calculan los

parámetros buscados a través de la reducción al mínimo del parámetro Q

$$Q := \sum_{n=1}^N (g(x_n) - f_n) * \text{conj}(g(x_n) - f_n),$$

en la que:

g : una función modelo con los parámetros $p_1, \dots, p_n$

5 f_n : los valores de exploración (muestras).

En la hipótesis de una oscilación compleja de forma sinusoidal se aplica la función de modelo g:

$$g := A * e^{(i \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot x + \alpha)}$$

en la que

A : Amplitud

10 f : frecuencia

x : Instante de la exploración

α : fase

Como se describe en [Mahr y col.], a partir de ello resulta un sistema de ecuaciones lineales para la amplitud A y la fase α con frecuencia f constante:

$$\alpha = \arctan \frac{\gamma}{\beta}$$

$$A = \frac{\beta^2 + \gamma^2}{N\beta} \cos \alpha$$

15 $Q - Q_0 = A * [A * N - 2 * (\beta \cos \alpha + \gamma \sin \alpha)]$

con

$$\beta = \sum_n^N \Re(f_n) \cos(2 * \pi * f * x_n) + \Im(f_n) \sin(2 * \pi * f * x_n)$$

$$\gamma = \sum_n^N \Im(f_n) \cos(2 * \pi * f * x_n) - \Re(f_n) \sin(2 * \pi * f * x_n)$$

$$Q_0 = \sum_n^N f_n * \text{conj}(f_n)$$

20 Con la ayuda de este sistema de ecuaciones lineales, a través del empleo de diferentes valores para la frecuencia f y la localización siguiente del mínimo de la desviación, se puede reconstruir la oscilación sinusoidal que sirve de base para los puntos de exploración x.

25 En el caso de radares estacionarios de zona próxima, por ejemplo radares de visión panorámica, entre la iluminación de la misma celda de distancias, es decir, entre las revoluciones individuales y, por lo tanto, los procesos de medición individuales, transcurre un cierto tiempo t (en función del tipo de radar la mayoría de las veces entre 2 y 5 segundos). La central eólica se encuentra con relación al radar siempre en la misma celda y genera en virtud de la regulación del número de revoluciones de los rotores aproximadamente el mismo desplazamiento de frecuencia de Doppler.

30 Durante el procesamiento de acuerdo con la invención, se yuxtaponen ahora los impulsos, que iluminan una celda de distancias, de varios escaneos sucesivos en el tiempo y se procesan. De ello resulta una multiplicación de las muestras que se pueden utilizar en cada escaneo. Los valores de las muestras en cada escaneo son recibidos de manera conveniente en la misma posición azimutal. Durante la yuxtaposición de las muestras de diferentes escaneos se produce un salto de fases, puesto que el tiempo t entre las revoluciones no corresponde a un múltiplo

de número entero de la duración de los periodos de las frecuencias de búsqueda.

Con otras palabras, durante la yuxtaposición de las secuencias $S_m(B_x)$ de valores de exploración a partir de M procesos de medición tiene lugar un salto de fases de secuencias $S_m(B_x)$ vecinas de valores de exploración, cuando las secuencias vecinas respectivas proceden de diferentes procesos de medición. De manera ventajosa se lleva a cabo una corrección de fases, siendo desplazados los valores de exploración individuales de un escaneo n+1 frente a un escaneo n precedente en un término de corrección t_{shift} . Este término de corrección t_{shift} se calcula de la siguiente manera,

$$t_{shift} = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{f_z}$$

φ_1 ... Escaneo n de Impulso de fase

φ_2 ... Escaneo n + 1 de Impulso de fase

f_z ... Frecuencia de búsqueda

Los instantes de exploración del escaneo n+1 se desplazan ahora en la medida de t_{shift} , después de lo cual poseen la misma fase con el escaneo n para la frecuencia de búsqueda f_s . Las frecuencias de búsqueda empleadas, en las que puede estar el eco de una WKA, se mueven en una zona fija. Esto es una consecuencia directa de la característica de la zona de empleo constante de WKAs, es decir, o bien el molinete genera un desplazamiento de frecuencias de Doppler en las frecuencias de búsqueda o no se mueve y de esta manera no genera tampoco interferencias. Las frecuencias de búsqueda se pueden escalar con exactitud discrecional, es decir, por ejemplo, cuando se explora una zona de 600 a 1200 Hz, entonces se busca tanto en etapas de 10 Hz como también en etapas de 0,1 Hz.

En una primera variante de la invención, en la yuxtaposición de los valores de exploración de los procesos de medición sucesivos en el tiempo se añade el intervalo de un escaneo al escaneo siguiente y así sucesivamente. Con otras palabras, a partir de cada proceso de medición (revolución) se agrupan las ráfagas individuales con los escaneos correspondientes como intervalo y se yuxtaponen. Por lo tanto, se yuxtaponen las mediciones, es decir, los escaneos a partir de las revoluciones individuales. Esta variante se explica a continuación con la ayuda de un ejemplo para 2 revoluciones (procesos de medición) con 3 ráfagas respectivas y, por lo tanto, 2 escaneos:

En una 1ª revolución, para la ráfaga 1 están presentes los valores de exploración del Escaneo 1, es decir, $S_1(B_1)$, para la ráfaga 2 están presentes los valores de exploración del Escaneo 1, es decir, $S_1(B_2)$ y para la ráfaga 3 están presentes los valores de exploración del Escaneo 1, es decir, $S_1(B_3)$. En una 2ª revolución, que se realiza en el tiempo después de la 1ª revolución, para la ráfaga 1 están presentes los valores de exploración del Escaneo 2, es decir, $S_2(B_1)$, para la ráfaga 2 están presentes los valores de exploración del Escaneo 2, es decir, $S_2(B_2)$ y para la ráfaga 3 están presentes los valores de exploración del Escaneo 2, es decir, $S_2(B_3)$.

Los valores de exploración calculados en ambas revoluciones son yuxtapuestos, siendo utilizando un término de corrección de fases K, que desplaza los valores de exploración en los escaneos 2 de manera correspondiente, como se ha explicado anteriormente:

$S_1B_1 S_1B_2 S_1B_3 K S_2B_1 S_2B_2 S_2B_3$

En este caso, la sección $S_1B_1 S_1B_2 S_1B_3$ o bien $S_2B_1 S_2B_2 S_2B_3$ se designa, respectivamente, como intervalo. Una ventaja de este escalonamiento de los escaneos es que entre los intervalos solamente debe corregirse un salto de fases.

En una segunda variante de la invención, se yuxtaponen las ráfagas correspondientes a partir de procesos de medición realizados de forma sucesiva en el tiempo. Esta variante se explica a continuación con la ayuda de un ejemplo para 2 revoluciones (procesos de medición), respectivamente, con 3 ráfagas y, por lo tanto, 2 escaneos:

Como en el ejemplo a partir de la primera variante, en una 1ª revolución, para la ráfaga 1 están presentes los valores de exploración del Escaneo 1, es decir, $S_1(B_1)$, para la ráfaga 2 están presentes los valores de exploración del Escaneo 1, es decir, $S_1(B_2)$ y para la ráfaga 3 están presentes los valores de exploración del Escaneo 1, es decir, $S_1(B_3)$. En una 2ª revolución, que se realiza en el tiempo después de la 1ª revolución, para la ráfaga 1 están presentes los valores de exploración del Escaneo 2, es decir, $S_2(B_1)$, para la ráfaga 2 están presentes los valores de exploración del Escaneo 2, es decir, $S_2(B_2)$ y para la ráfaga 3 están presentes los valores de exploración del Escaneo 2, es decir, $S_2(B_3)$.

Los valores de exploración calculados para una ráfaga a partir de ambas revoluciones son yuxtapuestos, siendo

utilizado un término de corrección de fases K, que desplaza los valores de exploración de diferentes revoluciones de manera correspondiente, como se ha explicado anteriormente:

$$S_1B_1 K S_2B_1 K S_1B_2 K S_2B_2 K S_1B_3 K S_2B_3$$

5 En esta forma de yuxtaposición se realiza después de cada ráfaga una corrección de fases K. Las ventajas son que el resultado es más exacto "geográficamente", y que a partir de los resultados intermedios es posible, sin gasto de cálculo adicional una resolución más exacta de la región. La resolución más exacta resulta de que los resultados intermedios de las ráfagas del mismo tipo (por ejemplo, Ráfaga 1 Escaneo 1 y Ráfaga 1 Escaneo 2) se pueden representar como celda de distancias.

10 De acuerdo con la invención, por medio del Estimador de Probabilidad Máxima, de manera conveniente el algoritmo Sinus-Fit, a partir de la yuxtaposición respectiva se calcula una oscilación armónica con la desviación cuadrática mínima con respecto a los valores de exploración. El resultado es una matriz, en la que para cada celda se conocen la intensidad de la señal, la fase y la frecuencia del objetivo.

15 De acuerdo con la invención se generan dos matrices de resultados E1, E2 generadas de forma sucesiva en el tiempo y se comparan entre sí, siendo marcada una celda como lugar de emplazamiento de una central eólica, cuando se cumplen las siguientes características:

1) Intensidad de la señal

20 La intensidad de la señal de la celda debe estar en cada una de las dos matrices de resultados E1, E2 por encima de un cierto valor umbral. Si la intensidad de la señal de la celda está solamente en una de los dos matrices de resultados E1, E2 por encima de un valor umbral, entonces no se puede tratar de una central eólica, puesto que la WKA está fija estacionaria y debe aparecer en las dos matrices de resultados E1, E2. En el caso de que solamente una matriz de resultados E1, E2 exceda el valor umbral, se trata en la mayoría de los casos de un objetivo móvil.

2) Limitación del desplazamiento posible de la frecuencia de Doppler

25 Es decir, que cuando se conoce la velocidad del viento, se conoce, por lo tanto, también la zona aproximada de las velocidades posibles del rotor, a partir de las cuales se deriva el desplazamiento de la frecuencia de Doppler. Si el valor de la celda de distancias se encuentra ahora fuera de esta zona no se puede tratar de una WKA.

3) Desviación de las frecuencias de Doppler halladas entre las matrices de resultados E1, E2.

En virtud de la regulación del número de revoluciones, la frecuencia hallada de la celda de distancias debe estar en la misma zona en ambas matrices de resultados E1, E2. Si las frecuencias se diferencian grandemente, el eco de una señal de emisión recibida no puede proceder de una WKA.

30 Si se cumplen todos los criterios, se marca la celda correspondiente como lugar de emplazamiento de una WKA.

35 A través de la agrupación de acuerdo con la invención de las muestras de varios escaneos, se soluciona el problema de base del efecto "Destello" de centrales eólicas en el campo de aplicación del radar de búsqueda panorámica. A través de la multiplicación de los datos que sirven para el cálculo se posibilita, en general, por primera vez una evaluación aproximadamente constante sobre el tiempo y la comparación siguiente, que permite la detección.

40 Otra ventaja reside en la localización activa de lugares de emplazamiento de centrales eólicas, en lugar de suprimir solamente, como es habitual hasta ahora, los efectos producidos. La utilización selectiva de las características posibilita distinguir fácilmente entre centrales eólicas y otros objetivos. Además, no son necesarias, como hasta ahora, otras fuentes de información sobre el lugar de emplazamiento de centrales eólicas en el campo de aplicación del radar, para marcar las zonas correspondientes.

El procedimiento se puede adaptar muy fácilmente al tipo de radar respectivo (número de las ráfagas, tiempo de propagación, instantes de la exploración, etc.).

Para cada celda de distancias se determinan los parámetros de frecuencia y amplitud directamente, los cuales representan datos de entrada importantes para otras evaluaciones y procesamiento posibles.

45 La gama de frecuencias se puede escalar con exactitud discrecional, es decir, que la zona de búsqueda se puede adaptar a las condiciones predominantes. Las gamas de frecuencia, que no tienen ninguna importancia se ignoran ya durante el procesamiento.

A través de la localización y marcación selectivas de las zonas relacionadas con centrales eólicas, es posible

realizar una distinción sencilla entre objetivos móviles e instalaciones eólicas. Esto conduce de nuevo a que se mejore en una medida decisiva el seguimiento de un objetivo en la zona de centrales eólicas.

Literatura:

- 5 [Mahr et al.] Thomas Mahr, Hans-Georg Kölle. Non equidistant sampling of radar signals. En Proceedings of the International Radar Symposium (IRS) 2005 Berlin, Alemania, páginas 831-835, 2005

REIVINDICACIONES

1.- Procedimiento para la detección de centrales eólicas por medio de una instalación de radar, en el que:

- a. se emiten de forma sucesiva en el tiempo un número N de secuencias B_x predeterminables, con $x = 1, \dots, N$, de K impulsos de emisión modulados, respectivamente, con una frecuencia predeterminable de la secuencia de impulsos,
- b. se utiliza un número predeterminable de frecuencias de la secuencia de impulsos,
- c. después de cada secuencia enviada, se conmuta cíclicamente a otra frecuencia de la secuencia de impulsos,
- d. los impulsos de emisión reflejados por un objeto son recibidos por la instalación de radar y son procesados, de tal manera que aparecen impulsos de recepción correspondientes a los impulsos de emisión, siendo recibidos por cada impulso de emisión una pluralidad de R impulsos de recepción,
- e. a partir de los impulsos de recepción, que pertenecen a secuencias B_x de impulsos de emisión modulados, se calcula por medio de medición del tiempo de propagación de la señal, la distancia con relación al objeto, y se genera una matriz de distancias Doppler con R líneas y $N \cdot K$ columnas, caracterizado por que
- f. en una zona azimutal se realizan cíclicamente una pluralidad M de procesos de medición en una dirección azimutal, siendo emitidos en cada proceso de medición N secuencias B_x de impulsos de emisión modulados en la dirección azimutal respectiva, y siendo generada una matriz de distancias Doppler para cada proceso de medición M,
- g. los valores de exploración de Z, con $Z = 2 \dots N$, las secuencias B_N de impulsos de emisión modulados desde M procesos de medición son yuxtapuestos y procesados por medio de un término de corrección predeterminable, siendo calculado por medio del algoritmo Sinus-Fit como Estimador de Máxima Probabilidad una oscilación armónica con la desviación cuadrática mínima con respecto a los valores de exploración, de tal manera que en el caso de presencia de los valores de exploración $f_n = f(X_n)$ de la oscilación compleja de forma sinusoidal con los parámetros de amplitud A, fase α y frecuencia f, se calculan los parámetros buscados a través de la reducción al mínimo del parámetro Q según
$$Q := \sum_{n=1}^N (g(x_n) - f_n) \cdot \text{conj}(g(x_n) - f_n),$$
 , siendo g una función modelo con los parámetros $p_1, \dots, p_n$ y f_n los valores de exploración.
- h. a través de la evaluación del Estimador de Máxima Probabilidad, a partir de la matriz de distancias Doppler con R líneas y $N \cdot K$ columnas se calcula una matriz de resultado con R líneas y N/Z columnas, siendo conocidas para cada línea la intensidad de la señal, la fase y la frecuencia Doppler,
- i. después de las etapas del procedimiento a) – h) se generan de forma sucesiva en el tiempo dos matrices de resultados E1, E2, que se comparan entre sí, siendo marcada una celda de distancias Doppler como lugar de emplazamiento de una central eólica, cuando
- i. la intensidad de la señal de una celda de distancias Doppler en ambas matrices de resultado (E1, E2) se encuentra por encima de un valor umbral predeterminable, y
- ii. el desplazamiento de la frecuencia Doppler en una celda de distancias Doppler en ambas matrices de resultado (E1, E2) se encuentra dentro de un intervalo de valores habitual para centrales eólicas, y
- iii. la diferencia de las frecuencias Doppler en una celda de distancias Doppler en ambas matrices de resultados (E1, E2) está por debajo de un valor umbral predeterminado.

2.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que durante la yuxtaposición de las secuencias $S_m(B_x)$, con $m = 1 \dots M$, de valores de exploración a partir de M procesos de medición, se tiene en cuenta una corrección de fases de secuencias $S_m(B_x)$ vecinas de valores de exploración, cuando las secuencias $S_m(B_x)$ vecinas de valores de exploración proceden de diferentes procesos de medición.

3.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, caracterizado por que la yuxtaposición de las secuencias

$S_m(Bx)$ de valores de exploración a partir de M procesos de medición se realiza de la siguiente manera:

$S_1(B_1), S_1(B_2), \dots, S_1(B_N), K, S_2(B_1), S_2(B_2), \dots, S_2(B_N), \dots, K, S_M(B_1), S_M(B_2), \dots, S_M(B_N),$

donde K es un término de corrección de fases.

- 5 4.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, caracterizado porque la yuxtaposición de las secuencias $S_m(Bx)$ de valores de exploración a partir de M procesos de medición se realiza de la siguiente manera:

$S_1(B_1), K, S_2(B_1), K, \dots, K, S_M(B_1), K, S_1(B_2), K, S_2(B_2), K, \dots, K, S_M(B_2), K, \dots, K, S_1(B_N), K, S_2(B_N), K, \dots, K, S_M(B_N),$

donde K es un término de corrección de fases.

- 10 5.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 3 ó 4, caracterizado por que por medio del término de corrección de fases K se desplazan los instantes de exploración de una secuencia siguiente en la serie, de tal manera que las secuencias $S_m(Bx)$ vecinas poseen la misma fase.