



República Federativa do Brasil
Ministério do Desenvolvimento, Indústria
e do Comércio Exterior
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(21) PI 1010454-2 A2



(22) Data de Depósito: 31/08/2010
(43) Data da Publicação: 09/04/2013
(RPI 2205)

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

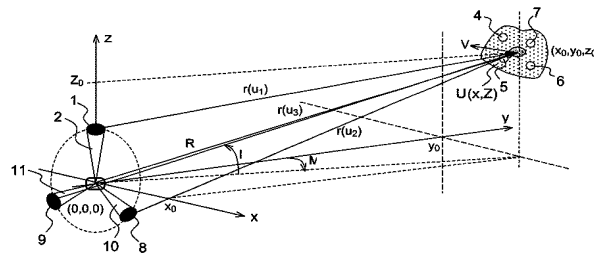
(54) **Título:** SISTEMA DE VIGILÂNCIA PARA DETECTAR ALVOS COM ALTA RESOLUÇÃO DE ALCANCE TRANSVERSAL ENTRE ALVOS

(30) **Prioridade Unionista:** 31/08/2009 EP 09 169085.9

(73) **Titular(es):** Thales Nederland B.V.

(72) **Inventor(es):** Radmila Erkocevic-Pribic, Ton Peerdeman, Willem Andries Hol

(57) **Resumo:** SISTEMA DE VIGILÂNCIA PARA DETECTAR ALVOS COM ALTA RESOLUÇÃO DE ALCANCE TRANSVERSAL ENTRE ALVOS. A presente invenção refere-se a um sistema de vigilância para detectar alvos com alta resolução de alcance transversal entre alvos. O sistema compreende pelo menos uma antena de radar montada em uma pá de um moinho de vento e um meio para aplicar uma técnica de detecção compressiva quando da não rotação da pá. Aplicação: sistemas de vigilância de ar, terra e mar.



Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "**SISTEMA DE VIGILÂNCIA PARA DETECTAR ALVOS COM ALTA RESOLUÇÃO DE ALCANCE TRANSVERSAL ENTRE ALVOS**".

5 A presente invenção refere-se a um sistema de vigilância para detectar alvos com alta resolução de alcance transversal entre alvos. Por exemplo, a invenção é particularmente aplicável a sistemas de vigilância aéreos, terrestres e marítimos.

O presente pedido é uma continuação de um Pedido de Patente Europeu depositado pelo mesmo requerente em 2 de dezembro de 2008, de
10 número EP08170468.6, e intitulado "Sistema de vigilância compreendendo uma antena de radar montada em uma pá de um moinho de vento". Adiante, o mesmo é referido como "o pedido anterior". Basicamente, o pedido anterior descreve um sistema de vigilância para detectar alvos, o sistema compreendendo uma antena de Radar de Abertura Sintética (SAR) montada em uma
15 pá de um moinho de vento. Em particular, tal disposição permite a estimativa de alcance transversal entre alvos com alta resolução quando da rotação da pá. Contudo, uma desvantagem de tal disposição é a de que a capacidade SAR não é operacional na ausência de vento ou quando o vento não for forte o suficiente para acionar a pá em rotação, impedindo assim a alta resolução de alcance transversal.
20

Soluções existentes baseadas em antenas de radar estacionário sugerem o aperfeiçoamento de resolução de alcance transversal entre alvos por meio de uma técnica de fusão de dados. Por exemplo, a interferometria pode alcançar resultados satisfatórios de diversas medições que variam no
25 tamanho.

A presente invenção tem por objetivo prover um sistema que pode ser usado para prover uma melhor resolução de alcance transversal entre alvos, usando antenas de radar montadas em pás de um moinho de vento na ausência de vento. De modo geral, a invenção propõe um sistema de
30 vigilância para detectar alvos. O sistema compreende pelo menos uma antena de radar montada em uma pá de um moinho de vento e se destina a aplicar uma técnica de detecção compressiva quando da não rotação da pá.

O artigo "Uma introdução à amostragem compressiva" (E.J. Candes e M.B. Wakin na revista IEEE Signal Processing, de março de 2008) provê uma boa apresentação das técnicas compressivas.

Vantajosamente, a técnica de detecção compressiva aplicada
5 pode compreender uma etapa de reconstruir uma imagem de alcance transversal p em uma certa distância com relação ao eixo de rotação das pás do moinho de vento. Um vetor de medição \underline{s} pode conter medições executadas pelas antenas de radar em alcances inclinados correspondendo a suas respectivas distâncias com relação à imagem de alcance transversal p . A ima-
10 gem de alcance transversal p pode ser fornecida por $\underline{s} = E\mathbf{p} + \underline{z}$, onde E pode ser uma matriz de medição e \underline{z} pode corresponder a distúrbios aleatórios. Por exemplo, a imagem de alcance transversal p pode ser então estimada por otimização de sua amplitude.

Preferivelmente, a matriz de medição E pode conter um modelo
15 de um eco de radar s juntamente com uma geometria que pode determinar as distâncias das antenas de radar com relação à imagem de alcance transversal p .

Preferivelmente, o modelo de eco de radar pode descrever o eco de radar s no domínio espectral como um sinal transmitido cujas amplitude e
20 fase podem ser moduladas.

Por exemplo, o modelo de eco de radar pode ser um modelo de banda estreita, que pode descrever o eco de radar s como uma réplica retardada por tempo e deslocada por doppler do sinal transmitido.

Por exemplo, o modelo de eco de radar pode ser um modelo de
25 banda larga, que pode descrever o eco de radar s pelo efeito Doppler. Por exemplo, o verdadeiro efeito Doppler pode ser descrito por escalação de uma réplica retardada por tempo do sinal transmitido.

Opcionalmente, o modelo de eco de radar pode incluir uma modulação de amplitude das medições executadas pelas antenas do radar.

30 Desse modo, uma vantagem provida pela presente invenção em alguns de seus aspectos é a de prover os mesmos resultados ou resultados melhores a partir de uma quantidade menor de dados do que qualquer mé-

todo de amostragem com base em Nyquist tradicional. Assim, a invenção provê uma solução compacta que é aplicável tanto com algumas antenas em várias pás estacionárias como com uma única antena em uma única pá giratória.

5 Outra vantagem provida pela presente invenção em qualquer de seus aspectos é a de que é uma solução baseada em modelo. Por isso, ela pode naturalmente acomodar qualquer cenário com a inclusão das peculiaridades de cenário no modelo.

Exemplos não limitativos da invenção são descritos abaixo com referênci

10 referência aos desenhos anexos nos quais:

a figura 1 ilustra esquematicamente, na presença de vento, a geometria de uma configuração básica exemplificativa, na qual uma única antena de radar é montada em uma pá de um moinho, de modo a aplicar uma técnica SAR de acordo com a técnica anterior;

15 a figura 2 ilustra esquematicamente, na ausência de vento, a geometria de outra configuração, na qual três antenas de radar exemplificativas são montadas nas pás de um moinho de vento, de modo a aplicarem uma técnica de detecção compressiva de acordo com a invenção.

Nas figuras, sinais de referência semelhantes são atribuídos a

20 itens semelhantes.

A figura 1 esquematicamente ilustra a geometria de uma configuração básica exemplificativa, na qual uma única antena SAR 1 é montada em uma única pá 2 de um moinho de vento. Na presença de vento, a antena 1 é acionada em rotação com uma velocidade radial Ω em um plano x-z vertical a partir de um ponto $(0, 0, L)$ para um ponto $(L\sin\Omega t, 0, L\cos\Omega t)$ no tempo t , L sendo o comprimento da pá 2 e o eixo de rotação das pás do moinho de vento estando em $(0, 0, 0)$. Em uma imagem de alcance transversal $p(x, y)$, um alvo contendo dispersores individuais de 3 a 7 pode transladar com uma velocidade constante v em qualquer direção a partir de uma posição

25 inicial (por exemplo, um dispersor 3 de $T(x_0, y_0, z_0)$ localizado no azimute φ , elevação Φ e alcance R de $(0,0,0)$). Ele está localizado no alcance inclinado $r(t)$ da antena 1 no tempo t . No alcance de terra y_0 do alvo, uma faixa na

30

forma de disco S poderá ser iluminada quando da rotação da pá 2. A faixa S está na área na qual são medidos dados coerentes. Desse modo, quando a pá 2 girar, a geometria deste sistema SAR exemplificativo permitirá estabelecer a imagem de alcance transversal $p(x, z)$ contendo o alvo 3, bem como outros alvos 4, 5, 6 e 7, na faixa S, conforme detalhado no pedido anterior. Infelizmente, na ausência de vento ou quando o vento não for forte o suficiente para acionar a pá em rotação, a capacidade SAR não será operacional, impedindo assim a estimativa de alcance transversal precisa.

A figura 2 esquematicamente ilustra a geometria de outra configuração exemplificativa, na qual três antenas de radar 1, 8 e 9 podem ser montadas em três pás 2, 10 e 11, respectivamente. Na ausência de vento, a medição pode ser executada apenas em três ângulos u_1 , u_2 e u_3 , correspondendo a três alcances inclinados $r(u_1)$, $r(u_2)$ e $r(u_3)$, respectivamente. Apenas poucos dados são medidos; então, nenhuma área de faixa pode ser definida e nenhum processamento SAR poderia ser executado. Contudo, a geometria ilustrada pela figura 2 pode ser vista como equivalente à geometria ilustrada pela figura 1, mas com menos ângulos de medição.

Vantajosamente, a técnica de detecção compressiva pode ser capaz de reconstruir um sinal desconhecido p tanto quanto possível de medições s em torno do sinal p , porque esta técnica é baseada na esparsidade do sinal p a ser reconstruído, juntamente com baixa coerência das medições a serem adquiridas. Técnicas de detecção compressiva são métodos iterativos, que podem ser implementados em virtude do meio de software. Na presente concretização da figura 2, a baixa coerência mútua de dados medidos nos ângulos u_1 , u_2 e u_3 se dá em relação com a configuração conhecida das antenas 1, 8 e 9 montadas nas pás 2, 8 e 9, respectivamente. Desse modo, uma imagem de alcance transversal $p(x, z)$ pode ser reconstruída a partir de um vetor de medição \underline{s} contendo medições do eco de radar s nos três ângulos u_1 , u_2 e u_3 . A relação entre p e \underline{s} pode ser assumida como sendo uma projeção linear, conforme fornecido pela seguinte relação linear (1):

$$\underline{s} = E p + \underline{z} \quad (1)$$

onde E pode ser uma matriz de medição e \underline{z} pode corresponder a distúrbios

aleatórios.

A detecção compressiva básica pode estimar p pela otimização de sua amplitude, sujeita a sua relação linear com as medições \underline{s} . A detecção compressiva avançada pode também permitir sinal ruidoso \underline{s} , bem como a esparsidade p aumentada. Inicialmente, a esparsidade p pode ser aperfeiçoada pela otimização l_1 ponderada. A norma- l_1 pode ser também substituída por uma norma l_p inferior, onde $0 < p < 1$, porque ela pode reduzir \underline{s} . Qualquer otimização l_p ponderada pode ser também solucionada como otimização l_2 ponderada pela escolha específica dos pesos. Finalmente, pontos de separação de regiões na formação de imagens aperfeiçoada poderiam adicionalmente refinar a otimização l_p ponderada. A coerência das medições pode ser definida como o produto interno máximo entre duas colunas normalizadas diferentes da matriz de projeção linear E . A coerência extremamente baixa pode ser alcançada pela randomização adicional de E .

Na presente concretização da figura 2, uma matriz de medição E pode vantajosamente conter um modelo do eco de radar s , juntamente com a geometria que pode determinar as distâncias a partir do radar. Preferivelmente, o modelo de eco de radar pode descrever o sinal recebido s no domínio espectral, como um sinal transmitido cuja amplitude e fase são moduladas. A modulação de fase é originada dos retardos de tempo causados pelos alcances. Além disso, o eco de radar s pode ser de banda estreita ou de banda larga. Por exemplo, um modelo de banda estreita pode descrever o eco de radar s como uma réplica retardada por tempo e deslocada por doppler do sinal transmitido. Como outro exemplo, um modelo de banda larga pode descrever o eco de radar s pelo efeito Doppler verdadeiro, por exemplo, com a escalação de uma réplica retardada por tempo do sinal transmitido. Opcionalmente, o modelo de eco de radar pode também incluir a modulação de amplitude das medições, causada pelo direcionamento de feixe de antena necessário para a formação de imagem adaptativa à faixa, por exemplo, e/ou a refletividade do alvo dependendo das frequências de radar e/ou os ângulos de visão, polarização de antena etc.

Desse modo, a presente invenção permite observar o ar, a terra

e o mar com resolução de alcance transversal aperfeiçoada tanto em azimute como em elevação, a partir de alturas e localizações convenientes de um moinho de vento. Vale notar que novos moinhos de vento, assim chamados de "turbinas de vento", estão disponíveis em tais áreas que precisam de re-
5 conhecimento e vigilância em aplicações de segurança e militar.

Uma vantagem adicional da presente invenção é a de que ela funciona com menos dados do que o exigido por quaisquer métodos de amostragem com base em Nyquist tradicionais. Consequentemente, ela pode ajudar não apenas no caso de menos ângulos de medição, mas também no
10 caso de menos números de ondas de radar. A invenção pode ser usada com ou sem vento, porque ela pode prover resultados comparáveis de menos dados, se não dos mesmos resultados.

Ainda, uma vantagem adicional provida pela presente invenção em qualquer de seus aspectos, é a de que ela é uma solução baseada em
15 modelo compacto. Ela pode, portanto, acomodar qualquer cenário, com a inclusão das peculiaridades de cenário no modelo. Consequentemente, ela pode ser facilmente adaptada não apenas a menos ângulos de visão causados pela ausência de vento ou causados pela rotação parcial das pás, mas também à largura de banda de sinal mais estreita, ao tipo de radar (por e-
20 xemplo, radar de pulso ou radar FMCW), à modulação de amplitude, ao tipo de alvo, à configuração do radar etc.

Além disso, a invenção permite uma melhor classificação de alvo.

REIVINDICAÇÕES

1. Sistema de vigilância para detectar alvos (3, 4, 5, 6, 7), o sistema compreendendo pelo menos duas antenas de radar (1) montadas nas pás (2) de um moinho de vento, o sistema sendo caracterizado pelo fato de que compreende um meio para aplicar uma técnica de detecção compressiva, quando da não rotação das pás (2), a técnica de detecção compressiva aplicada compreendendo uma etapa de reconstruir uma imagem de alcance transversal p em uma certa distância (y_0) a partir das pás do moinho de vento (2, 10, 11), um vetor de medição \underline{s} contendo medições executadas pelas antenas de radar (1, 8, 9) em alcances inclinados ($r(u_1)$, $r(u_2)$, $r(u_3)$) correspondendo a suas respectivas distâncias com relação à imagem de alcance transversal p , a imagem de alcance transversal p sendo fornecida por $\underline{s} = E p + \underline{z}$, onde E é uma matriz de medição e \underline{z} corresponde a distúrbios aleatórios, a matriz de medição E contendo um modelo de um eco de radar s juntamente com uma geometria que determina as distâncias das antenas de radar (1, 8, 9) com relação à imagem de alcance transversal p .

2. Sistema de vigilância, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a imagem de alcance transversal p é estimada por otimização de sua amplitude.

3. Sistema de vigilância, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o modelo de eco de radar descreve o eco de radar s no domínio espectral como um sinal transmitido cujas amplitude e fase são moduladas.

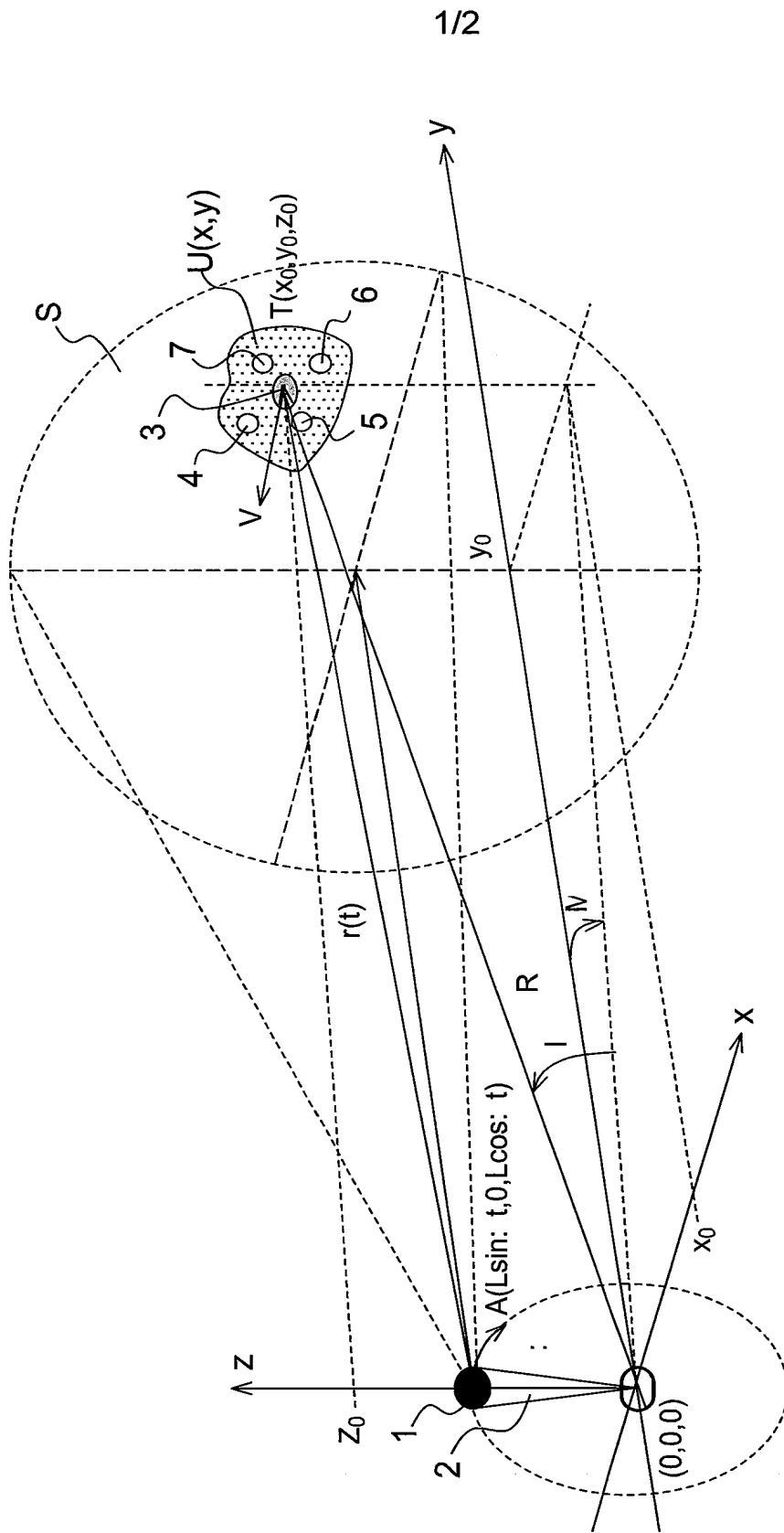
4. Sistema de vigilância, de acordo com a reivindicação 3, caracterizado pelo fato de que o modelo de eco de radar é um modelo de banda estreita que descreve o eco de radar s como uma réplica retardada por tempo e deslocada por doppler do sinal transmitido.

5. Sistema de vigilância, de acordo com a reivindicação 3, caracterizado pelo fato de que o modelo de eco radar é um modelo de banda larga, que descreve o eco radar s pelo verdadeiro efeito Doppler.

6. Sistema de vigilância, de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pelo fato de que o efeito Doppler verdadeiro é descrito com a escalação

de uma réplica retardada por tempo do sinal transmitido.

7. Sistema de vigilância, de acordo com a reivindicação 3, caracterizado pelo fato de que o modelo de eco de radar inclui uma modulação de amplitude das medições executadas pelas antenas de radar (1, 8, 9).



1/2

(Técnica Anterior)
FIG.1

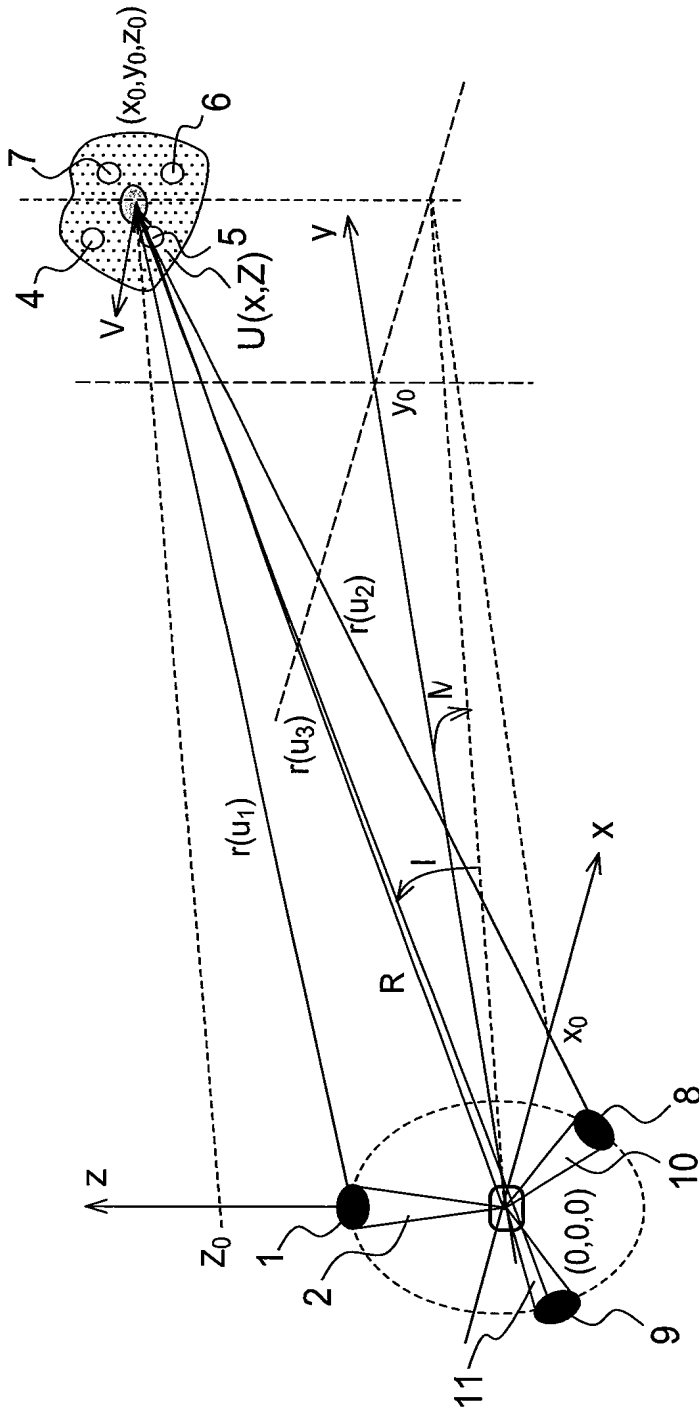


FIG.2

RESUMO

Patente de Invenção: **"SISTEMA DE VIGILÂNCIA PARA DETECTAR ALVOS COM ALTA RESOLUÇÃO DE ALCANCE TRANSVERSAL ENTRE ALVOS"**.

5 A presente invenção refere-se a um sistema de vigilância para detectar alvos com alta resolução de alcance transversal entre alvos.

O sistema compreende pelo menos uma antena de radar montada em uma pá de um moinho de vento e um meio para aplicar uma técnica de detecção compressiva quando da não rotação da pá.

Aplicação: sistemas de vigilância de ar, terra e mar.