



11. MAR. 1992

1           **SISTEMA DE RADAR PARA A GERAÇÃO DE INDICAÇÕES BIDIMENCIO-**  
                  **NAIS OU TRIDIMENSIONAIS DE POSIÇÃO DE ALVOS**

5

10                           O invento refere-se a um sistema de ra-  
dar para a geração, como requerido, da indicação bidimensio-  
nal ou tridimensional da posição de alvos presentes dentro  
do volume de busca do sistema de radar, equipado pelo me-  
nos com:

15

i)    meios de antena para a geração de um feixe em  
leque, o feixe em leque definindo um plano de  
feixe de antena;

ii)   meios para rotação, em azimuth, os meios de an-  
tena num tempo T de rotação de antena;

20

iii)  meios de radar, cooperando com os meios de an-  
tena, para a geração dos dados azimuth e os  
dados de raio de acção para os alvos.

25

30

35

A indicação de posição tri-dimensional  
pode ser de grande importância. Se, por exemplo, o sistema  
de radar está posicionado nas cercanias de uma instalação  
militar, ou o bordo de um navio de guerra, então pela altu-  
ra de um alvo assinalado pode frequentemente ser desenhada  
uma tentativa de conclusão quanto à natureza desse alvo. Se  
o alvo for identificado como potencialmente hostil um radar  
de controlo de disparo pode, se tiver disponível um indica-  
dor de posição tri-dimensional, imediatamente ser aponta-  
do para este alvo. No caso de ter disponível só um indica-  
dor de posição bidimensional, é necessária uma pesquisa  
contínua adicional, da altitude, pelo radar de controlo de  
disparo.



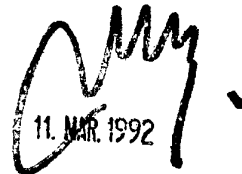
11 MAR 1992

1 Um método para a geração de indicações  
tridimensionais de posições é descrito na EP-A 0.151.640.  
O sistema de radar ali descrito está provido de meios de an-  
5 tena para a geração, como requerido, de um feixe em leque  
ou um feixe em lápis. Se os meios de antena são girados  
durante a geração de um feixe em leque, o volume de busca  
do sistema de radar pode ser explorado eficientemente. O  
ângulo de elevação de um alvo observado pode ser determinado  
10 enquanto os meios de antena geram um feixe em lápis, pelo  
qual o azimuth é fixado na direcção do alvo e realiza-se  
uma pesquisa contínua em altura.

Este método tem o inconveniente de que  
uma antena de ordem faseada bidimensional tem que ser usada  
15 para a geração, como requerido, de um feixe em leque ou um  
feixe em lápis, o que forma o sistema de radar indevidamen-  
te caro.

O invento destina-se a eliminar este in-  
conveniente e é caracterizado pelo facto de os meios de an-  
20 tena estarem providos de meio para a inclinação sobre um  
eixo de inclinação da antena, de tal maneira que o plano de  
feixe da antena faz um ângulo  $\theta$  com uma normal sobre a su-  
perfície da terra, e pelo facto de o sistema de radar estar  
equipado de meios para a combinação dos dados de azimuth e  
25 os dados de raio de acção dos objectivos, medidos a diferen-  
tes ângulos  $\theta_i$  ( $i = 1, \dots, n$ ) para a indicação bidimen-  
sional ou tridimensional da posição desses alvos.

A geração, como requerido, de indicação  
bidimensional ou tridimensional da posição usando antenas  
30 inclinadas é como tal bem conhecida, e é por exemplo descri-  
ta no "Radar Handbook" de M.I. Skolnik, sob o nome: ra-  
dar de feixe em V. Tal sistema de radar está equipado com  
duas antenas, ou posicionadas lado a lado, ou montadas uma  
por cima da outra, que giram simultaneamente, cada uma geran-  
35 do um feixe em leque. Cada feixe em leque define um plano



11. MAR. 1992

1 de feixe de antena, e estes planos juntos formam um ângulo  
pelo qual a linha de intersecção dos planos de feixe de an-  
tena é virtualmente tangente à superfície da terra. As  
duas antenas estão equipadas de meios de radar e não de-  
tectam alvos perto da superfície da terra substancialmente  
5 ao mesmo azimuth. Para um alvo que esteja a uma latura  $h$ ,  
uma diferença em azimuth será observada pelas duas antenas  
mais os meios de radar acoplados. Se esta diferença em  
azimuth for  $\Delta\alpha$ , então  $h$  é substancialmente proporcional  
a  $\Delta\alpha$ . Meios de combinação situados na saída dos meios  
10 de radar podem assim determinar a altura de cada alvo den-  
tro do volume de busca do sistema de radar.

O inconveniente deste método, especial-  
mente nas aplicações marítimas, é o peso substancial, da  
15 parte superior causado pela antena duplicada. Isto torna a  
aplicação quase irrealizável, especialmente a bordo dos na-  
vios mais pequenos. Um outro inconveniente é que os meios  
de radar, também, devem ser duplicados.

O invento será agora mais explicado fa-  
zendo referência à figura que é uma representação esquemáti-  
ca do método pelo qual é determinada a altura de um alvo.  
20

A explicação está baseada num sistema de  
radar com uma antena rotativa e meios de radar para deter-  
minar exactamente o raio de acção e o azimuth dos alvos  
25 dentro do volume de busca do sistema de radar. A antena  
gera um feixe em leque com um ângulo de abertura de azimuth  
relativamente pequeno e um ângulo de abertura de elevação  
relativamente amplo. O plano de feixe da antena assim de-  
finido é virtualmente perpendicular à superfície da terra,  
30 que de momento é suposta ser plana. A linha de interacção  
do plano de feixe da antena e a superfície da terra serão  
referidas mais adiante como o eixo de inclinação. São então  
adicionados meios permitindo à antena ser inclinada de ma-  
neira que o plano de feixe da antena passe a não ser per-  
35 pendicular à superfície da terra, embora gire em torno do


 11. MAR. 1992

1 eixoinclinado. Quando os azimuths dos alvos, obtidos com a  
 5 antenna na posição não-onclinada e inclinada são comparados,  
 conclui-se que os alvos sobre a superfície da terra ainda  
 são observados ao mesmo azimuth. Um alvo a uma certa al-  
 tura é medido a um azimuth que depende do ângulo de incli-  
 nação e da altura do alvo.

Isto é explicado com referência à figu-  
 ra, em que umprimeiro plano de feixe de antenna 1 com um  
 10 ângulo de inclinação  $\theta_2$  contém um alvo 3, por exemplo  
 durante duas rotações consecutivas, quando os meios de an-  
 tena são sucessivamente inclinados aos ângulos mencionados.  
 Com um ângulo de inclinação  $\theta_1$  o alvo é medido na direc-  
 ção de azimuth  $\varphi_{m1}$ , com um ângulo de inclinação  $\theta_2$  o  
 15 alvo é medido na direcção de azimuth  $\varphi_{m2}$ . A verdadeira  
 direcção de azimuth é .

Se se suposer que a altura  $h$  de um al-  
 vo é bem menor do que a distância  $R$  entre o alvo e o siste-  
 ma de radar, o que se indica em seguida aplica-se à figura,  
 20 pelo menos virtualmente, assim:

$$\text{tg } \theta_1 = \frac{R}{h} (\varphi_{m1} - \varphi) \quad (1)$$

$$\text{tg } \theta_2 = \frac{R}{h} (\varphi_{m2} - \varphi) \quad (2)$$

de modo que

$$h = \frac{R(\varphi_{m2} - \varphi_{m1})}{\text{tg } \theta_2 - \text{tg } \theta_1} \quad (3)$$

35 Na situação actual, uma terra em curva  
 existem vantagens na selecção do eixo inclinado de maneira



11. MAR. 1992

1 que este seja perpendicular normal à superfície da terra  
no local dos meios de antena. Para um sistema de radar si-  
tuado perto da superfície da terra isto significa que os  
5 objectos perto da superfície da terra são continuamente  
observados ao mesmo ângulo de azimuth, independentemente  
do ângulo de inclinação. O sistema de radar proporcionará  
então uma imagem não deformada da superfície da terra. Só  
objectos que estão a uma certa altura experimentaram um  
deslocamento aparente da inclinação dos meios de antena.  
10 Só para estes objectos, é necessário meios de combinação  
que combinam os ecos medidos a diferentes ângulos de incli-  
nação  $\theta_i$  ( $i = 1, \dots, n$ ).

15 Para um sistema de radar, montado num  
avião ou qualquer outra plataforma aerotransportada, exis-  
tem vantagens, também, na selecção do eixo de inclinação  
como anteriormente descrito, porque este revelará instanta-  
neamente se um objecto está por cima ou por baixo da plata-  
forma aerotransportada. A um ângulo dado de inclinação  
20 um objecto por cima da plataforma aerotransportada será ob-  
servado relativamente demasiado cedo, em relação ao azi-  
muth medido, enquanto que um objecto por baixo dele será ob-  
servado demasiado tarde.

25 Uma materialização vantajosa do in-  
vento é conseguida nas aplicações pelas quais os meios de  
antena estão providos de meios de estabilização de duplo  
eixo, como encontrado a bordo dos barcos e nos aviões. Ge-  
ralmente, estes meios de estabilização podem ser equipados  
facilmente com uma entrada de controlo permitindo ser ob-  
30 tido um ângulo de inclinação requerido.

35 Às vezes é aceitável num sistema de ra-  
dar ter um ângulo cego, um sector de azimuth em que o sis-  
tema de radar fornece informação duvidosa ou absolutamente  
nenhuma informação. Isto acontece, por exemplo, a bordo  
de um barco cuja superestructura forma um obstáculo para

11. MAR. 1992

1 radiação emitida e recebida. Se é aceitável um ângulo cego  
 uma materialização particularmente vantajosa do invento  
 pode ser escolhida, pela qual o ângulo de inclinação varia  
 5 de uma forma periódica virtualmente de maneira gradual, e  
 pela qual a variação virtualmente gradual do ângulo de in-  
 clinação toma sempre lugar onde o ângulo cego é atravessa-  
 do.

10 Se, por exemplo, nós provocarmos que o  
 ângulo de inclinação mude por revolução de antena na ordem  
 $\theta, -\theta, \theta, -\theta, \dots$ , isto significa que após uma simples  
 revolução a altura  $h$  de um objecto previamente observado  
 pode ser determinada de acordo com a fórmula (3):

$$15 \quad h = \frac{R(\varphi_{m2} - \varphi_{m1})}{2 \operatorname{tg} \theta} \quad (4)$$

20 Um factor perturbador pode ser formado  
 por uma velocidade tangente do objecto. Se for significa-  
 tivo, são precisas duas revoluções (3 medições): Se  $\theta$  é  
 a deslocação extra angular acontecendo como um resultado  
 da velocidade radial, três medições consecutivas produzi-  
 rão os valores  $\varphi_{m1}, \varphi_{m2+\theta}, \varphi_{m3+2\theta}$ , pelo qual  $\varphi_{m1},$   
 $\varphi_{m2}, \varphi_{m3}$  são os azimuths que poderiam ter sido medidos  
 25 sem velocidade radial:

$$\theta = \frac{\varphi_{m3} - \varphi_{m1}}{2} \quad (5)$$

$$30 \quad h = \frac{R(\varphi_{m2} - \varphi_{m1})}{2 \operatorname{tg} \theta} = \frac{R(-\varphi_{m3} + 2\varphi_{m2} - \varphi_{m1})}{4 \operatorname{tg} \theta} \quad (6)$$

35 Numa materialização alternativa o siste-  
 ma de radar é utilizado normalmente a um ângulo de inclina-  
 ção  $\theta = 0$ . Só quando a altura de um objecto precisa ser


 11. MAR. 1992

1 medida, uma revolução de antena, ou parte dela (o que frequentemente bastará), será completada a um ângulo de inclinação  $\theta_0$ .

5 Nesta forma, o invento é particularmente apropriado para adicionar a sistemas de radar existentes. Tais sistemas de radar estão na maior parte das vezes providos de um computador de trajetórias que, utilizando os dados produzidos durante cada revolução de antena, estabelece trajetórias de alvos potencialmente interessantes. A seu tempo, a posição e a velocidade dos alvos sendo assim seguidos tornam-se conhecidos com precisão. A altura desconhecida de um alvo pode ser verificada pela determinação da posição do alvo uma ou várias vezes por uma antena inclinada. Desde que a combinação, desta maneira, das posições do alvo a diferentes ângulos de inclinação possa ser mantida a um valor mínimo, o computador de vias em uso será geralmente capaz de realizar a função adicional dos meios de combinação.

20 Se a presença de um ângulo cego for menos aceitável para um sistema de radar, o ângulo de inclinação pode variar continuamente. Uma escolha óbvia é variar o ângulo de inclinação harmonicamente, de forma a que o ângulo de inclinação complete um período durante o tempo que a antena faz  $n$  revoluções:

$$\theta(t) = \theta_{\max} \cdot \sin \left( \theta_0 + \frac{2\pi}{nT} t \right) \quad (7)$$

30 sendo  $\theta_{\max}$  o ângulo de inclinação máximo permissível,  $\theta_0$  uma fase inicial arbitrariamente seleccionável do ângulo de inclinação, e  $T$  o tempo de rotação de antena.

35 Com  $n = 1$ , um alvo é sempre medido ao mesmo ângulo de inclinação, e portanto a sua altura não pode ser determinada.

Com  $n = 2$  produz na prática um ângulo cego. Se, por exem-

11 MAR. 1992



1 plo, nós assumirmos que o ângulo de inclinação mais largo  
acontece sempre quando o radar olhar para a frente, então  
o ângulo de inclinação será sempre zero quando o radar  
5 olhar para trás.

Com  $n =$  grande, as medições  $\theta_{mi}$  consecutivas só varia-  
rão pouco, o qual pode afectar adversamente a determinação  
da altura.

10 Com  $n$  sem ser um número inteiro, a combinação de medições  
de altura sucessivas torna-se desnecessariamente complexa.  
Uma materialização vantajosa é portanto obtida com  $n = 3$ .

Suponha-se as seguintes aplicações para  
as medições sucessivas:


15	$\varphi_{m1}, \varphi_{m2}, \varphi_{m3}, \dots$	os azilutes medidos;
	$\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots$	os ângulos de inclinação instantâneos;
20	$R_1, R_2, R_3, \dots$	as distâncias medidas do alvo;
	$h_1, h_2, h_3, \dots$	as estimativas da altura do alvo;
25	$\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \dots$	as estimativas do azimute do alvo;

A partir de duas medições sucessivas  
a altura do objectivo pode então ser determinada sempre,  
numa maneira análoga a (3):

$$30 \quad h_i = \frac{R_i (\varphi_{mi} - \varphi_{mi-1})}{\text{tg } \theta_1 - \text{tg } \theta_{i-1}} \quad i = 2, 3, 4, \dots \quad (8)$$

35 Aqui, também, uma velocidade tangente do alvo produz um  
erro na determinação da altura. Incluindo mais medições

11. MAR 1992



1 no processo de estimação e assumindo que  $h$  é constante, este erro pode ser eliminado:

$$5 \quad h = \frac{R_{i+1} (\varphi_{mi+1} - \varphi_{mi} + \epsilon)}{\operatorname{tg} \theta_{i+1} - \operatorname{tg} \theta_i} \quad (9)$$

$$10 \quad h = \frac{R_i (\varphi_{mi} - \varphi_{mi-1} + \epsilon)}{\operatorname{tg} \theta_i - \operatorname{tg} \theta_{i-1}} \quad (10)$$

15 As equações (9) e (10) contêm como incógnitas a altura e o erro angular causados por uma velocidade tangente do objectivo. Com a eliminação de  $\epsilon$ , obtem-se a altura.

20 Por incluir mais e mais medições no processo de estimação, uma estimativa da altura proporcionalmente melhor pode ser atingida.

Contudo isto é prejudicial para o tempo de reacção do sistema de radar, quando a estimação se torna susceptível a qualquer manobra que o alvo possa fazer.

25 Obtém-se uma materialização vantajosa ao combinar sempre quatro medições, preferivelmente consecutivas, numa estimativa.

30 Uma vez que a um alvo foi atribuído uma trajectória pelo computador de trajectórias associado com os meios de radar,  $R$  e  $\varphi$  são sempre conhecidos. Para cada nova medição, dado  $\theta$ , um  $\varphi_m$  é medido, a fim de se poder determinar a altura:

$$35 \quad h = \frac{R}{\operatorname{tg} \theta} (\varphi_m - \varphi) \quad (11)$$

Lisboa, 11/3/91

ENG.º MANUEL MONIZ PEREIRA

Adjunto do AOPI Eng.º Vasco Leite

Arco da Conceição, 3-1.º - 1100 LISBOA

Por HOLLANDSE SIGNAALAPPARATEN:

= 10 =





11. MAR. 1992

1

= R E I V I N D I C A Ç Õ E S =

5

1ª - Sistema de radar para a geração segundo as necessidades de indicações bidimensionais ou tridimensionais de posição de alvos presentes no interior do volume de busca do sistema de radar, equipado com pelo menos:

10

- i) meios de antena para a geração de um feixe direccional em forma de leque, o qual define um plano de feixe direccional de antena;
- ii) meios para girar, em zimute, os meios de antena num tempo de rotação de antena T;
- iii) meios de radar, que cooperam com os meios de antena para a geração dos dados de azimute e dos dados de distância para os alvos;

15

20

caracterizado por os meios de antena estarem providos de meios para a inclinação à volta de um eixo de inclinação de antena, de tal forma que o plano de feixe direccional de antena faça um ângulo de inclinação  $\theta$  com uma normal à superfície da terra, e pelo facto do sistema de radar estar equipado com meios para a combinação dos dados de azimute e os dados de distância dos alvos, medidos a diferentes ângulos de inclinação  $\theta_i$  ( $i = 1, \dots, n$ ) para indicações bidimensionais ou tridimensionais de posição daqueles alvos.

25

30

2ª - Sistema de radar de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por o eixo de inclinação ser praticamente perpendicular à normal, e passar pelo plano do feixe direccional de antena.

35


 11. MAR. 1992

1  
3ª - Sistema de radar de acordo com as  
reivindicações 1 ou 2, onde os meios de antena estão mu-  
nidos de meios de estabilização de eixo duplo, caracteri-  
5 zado por os meios de estabilização do eixo duplo proporcio-  
narem também a inclinação dos meios de antena.

10  
4ª - Sistema de radar de acordo com  
qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado  
por o ângulo de inclinação  $\theta$  variar substancialmente es-  
calonado no tempo.

15  
5ª - Sistema de radar de acordo com  
qualquer uma das reivindicações de 1 a 4, caracterizado  
por o ângulo de inclinação  $\theta$  variar de forma substancial-  
mente periódica no tempo.

20  
6ª - Sistema de radar de acordo com a  
reivindicação 5, caracterizado por o período de tempo do ân-  
gulo de inclinação ser substancialmente  $nT$  ( $n = 2, 3,$   
4, ...).

25  
7ª - Sistema de radar de acordo com a  
reivindicação 6, caracterizado por o ângulo de inclinação  
variar de forma substancialmente harmônica no tempo, e o  
período de tempo do ângulo de inclinação ser substancial-  
mente  $nT$  ( $n = 3, 4, 5, \dots$ ).

30  
8ª - Sistema de radar de acordo com  
a reivindicação 7, por meio do qual, para um alvo, os  
azimutes  $\varphi_{mi}, \varphi_{mi+1}, \dots, \varphi_k$  e as distâncias  
 $R_i, R_{i+1}, \dots, R_k$  têm sido medidos ( $i, k \in N$ ),  
caracterizado por os azimutes  $\varphi_{mi}, \varphi_{mi+1}, \dots,$   
 $\varphi_k$  e as distâncias  $R_i, R_{i+1}, \dots, R_k$  terem sido me-  
35 didos nos ângulos de inclinação  $\theta_i, \theta_{i+1}, \dots, \theta_k,$

64.162

Case H.S.A. D 282

1 e uma estimativa da altura  $h_k$  ser obtida a partir dos  
angulos de inclinação  $\theta_j, \dots, \theta_k$ , as dimensões  $\ell_{mj},$   
5  $\dots, \ell_{mk}$  e  $R_j, \dots, R_k$  em que  $J \in N; i \leq j \leq k.$

9ª - Sistema de radar de acordo com a  
reivindicação 7, através do qual o sistema de radar está  
adicionalmente, equipado com um computador de rastreio que  
10 gera continuamente uma estimativa da distância  $R$  e do  
azimute  $\ell$ , caracterizado por uma estimativa da altura  $h$   
ser obtida a partir de  $R, \ell$ , do ângulo instantâneo de in-  
clinação  $\theta$  e do azimute  $\ell_m$  medido.

15 Lisboa, 11. MAR. 1992

Por HOLLANDSE SIGNAALAPPARATEN B.V.

20 

ENG.º MANUEL MONIZ PEREIRA

Adjunto do ACPri Eng.º Vasco Leite

Arco da Conceição, 3-1.º - 1100 LISBOA

35

11. MAR. 1992

