



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
16.10.2002 Bulletin 2002/42

(51) Int Cl.7: **H01Q 21/06, H01Q 21/28**

(21) Numéro de dépôt: **02290732.3**

(22) Date de dépôt: **22.03.2002**

(84) Etats contractants désignés:
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE TR
 Etats d'extension désignés:
AL LT LV MK RO SI

(72) Inventeur: **Mr. Desodt Guy c/o Thales,**
Intellectual Property
94117 Arcueil C-dex (FR)

(74) Mandataire: **Lucas, Laurent Jacques**
Thales Intellectual Property,
13, avenue du Président Salvador Allende
94117 Arcueil Cedex (FR)

(30) Priorité: **27.03.2001 FR 0104113**

(71) Demandeur: **Thales**
75008 Paris (FR)

(54) **Antenne en réseau et formation de faisceau par le calcul**

(57) La présente invention concerne une antenne en réseau.

Cette dernière comporte au moins trois sous-réseaux linéaires, l'espacement entre éléments successifs d'un même sous-réseau étant un multiple entier d'un vecteur commun formant le pas du sous-réseau. Le pas

des sous-réseaux prend des valeurs parmi plusieurs triplets de vecteurs (pas1, pas2, pas3) vérifiant $\text{pas1} + \text{pas2} + \text{pas3} = 0$.

L'invention s'applique particulièrement un radar à émission synthétique et à formation de faisceau par le calcul, destiné notamment à la surveillance de l'espace aérien.

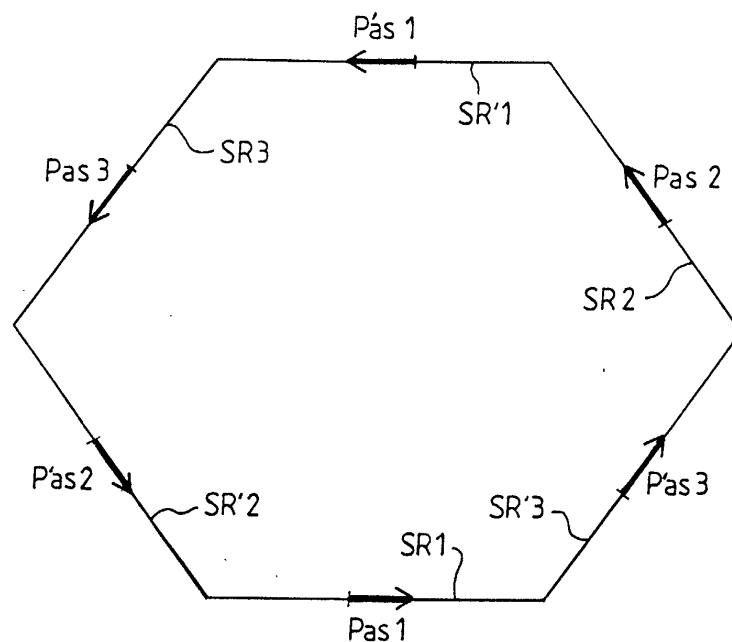


FIG.12

Description

[0001] La présente invention concerne une antenne en réseau. Elle concerne particulièrement un radar à émission synthétique et à formation de faisceau par le calcul, destiné notamment à la surveillance de l'espace aérien.

[0002] Il est connu, notamment par la demande de brevet française FR n° 87 08186 de réaliser un radar de surveillance aérienne à antenne répartie sur une grande surface. Le principe de fonctionnement de ce type de radar est décrit dans l'ouvrage de J. Darricaud : Physique et théorie du radar, Tome 3, 3^{ème} édition 1994, pages 538 et suivantes. L'antenne d'un tel radar comporte par exemple un réseau de modules d'émission et un réseau de modules de réception. Le réseau d'émission comporte ainsi par exemple des antennes élémentaires réparties sur un cercle de diamètre de plusieurs dizaines de mètres, voire plusieurs centaines de mètres. La disposition circulaire n'est pas obligatoire, la répartition des antennes élémentaires peut en effet suivre des lignes qui ne sont pas circulaires. Chaque antenne élémentaire est par exemple disposée au sommet d'un mât au pied duquel se trouvent des moyens d'émission d'une onde hyperfréquence, l'ensemble formant un module d'émission. De même, le réseau de réception comporte des capteurs élémentaires répartis par exemple sur un cercle de grande dimension, par exemple concentrique par rapport au précédent. La numérisation du signal reçu est effectuée au niveau d'un capteur élémentaire, puis le signal numérisé est envoyé à un centre pour la formation de faisceau par le calcul (FFC). Une telle antenne répartie a notamment comme avantage d'être peu vulnérable. En effet, une attaque extérieure peut facilement détruire un ou plusieurs modules élémentaires mais très difficilement la totalité ou la majeure partie du réseau. En cas d'agression, seuls quelques modules élémentaires sont détruits mais pas l'ensemble. L'antenne peut donc continuer à fonctionner. Elle présente donc une faible vulnérabilité, du moins elle suit une dégradation douce en cas d'attaque.

[0003] Chaque module d'émission émet dans une sous-bande de la bande instantanée d'émission du radar. Ainsi, si la bande d'émission du radar est choisie égale à B kHz, et si le réseau d'émission comporte N modules d'émission, chaque module émet dans une sous-bande de B/N kHz, ce qui peut faire en pratique de l'ordre de quelques dizaines de kHz.

[0004] Une telle antenne comporte donc plusieurs dizaines d'émetteurs et de capteurs élémentaires répartis dans un réseau inscrit lui-même dans un cercle qui peut atteindre quelques centaines de mètres. Avec une longueur d'onde métrique, l'antenne ainsi constituée est par conséquent lacunaire, c'est-à-dire que la distance entre deux émetteurs ou capteurs consécutifs dépasse $\lambda/2$, où λ est la longueur de l'onde émise. Il en résulte à l'émission et à la réception des lobes secondaires très importants qui rendent donc la détection des cibles dif-

ficile. Ces lobes secondaires sont en effet très perturbateurs puisque leur niveau peut culminer jusqu'à -15 dB.

[0005] Un but de l'invention est notamment de maîtriser ces lobes secondaires. A cet effet, l'invention a pour objet une antenne en réseau, caractérisée en ce qu'elle comporte au moins trois sous-réseaux linéaires, l'espacement entre éléments successifs d'un même sous-réseau étant un multiple entier d'un vecteur commun formant le pas du sous-réseau, le pas des sous-réseaux prenant des valeurs parmi plusieurs triplets de vecteurs (pas1, pas2, pas3) vérifiant $\text{pas1} + \text{pas2} + \text{pas3} = 0$.

[0006] L'invention a notamment pour principaux avantages qu'elle ne nécessite pas de réalisation particulière au niveau des circuits de traitement des signaux, qu'elle est simple à mettre en oeuvre et qu'elle est économique.

[0007] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à l'aide de la description qui suit faite en regard des dessins annexés qui représentent :

- la figure 1, une antenne en réseau ;
- la figure 2, une illustration du problème des lobes secondaires dus au réseau d'antenne lacunaire ;
- la figure 3, un sous-réseau d'une antenne selon l'invention caractérisé par son pas, cette dernière comportant des sous-réseaux linéaires ;
- les figures 4 et 5, la position de lobes d'émission ou de réception par rapport à l'orientation de sous-réseaux linéaires non lacunaires ;
- la figure 6, la position des lobes pour un réseau lacunaire ;
- la figure 7, un maillage représentant la position des lobes pour un réseau comportant deux sous-réseaux lacunaires ;
- les figures 8, 9a, 9b et 10 des exemples de maillage pour un réseau comportant trois sous-réseaux selon les pas de ces derniers ;
- la figure 11, un maillage correspondant à deux ensembles de sous-réseaux dont les pas sont homothétiques ;
- la figure 12, un exemple de disposition des réseaux dans une antenne selon l'invention.

[0008] La figure 1 présente de façon schématique une antenne en réseau, par exemple celle d'un radar à émission synthétique et à formation de faisceau par le calcul, notamment par la disposition de ses éléments. Ce radar comporte un réseau de P modules d'émission élémentaires $E_1, \dots, E_i, \dots, E_P$ et un réseau de N modules de réception élémentaires $R_1, \dots, R_j, \dots, R_N$. Le réseau d'émission 1 est de préférence situé à l'intérieur du réseau de réception 2. L'émission est réalisée par l'ensemble des P éléments rayonnant $E_1, \dots, E_i, \dots, E_P$ qui émettent simultanément des signaux différents. La réception est assurée par l'ensemble des N récepteurs $R_1, \dots, R_j, \dots, R_N$ qui reçoivent quasi simultanément les échos issus de l'émission.

[0009] A la réception, le filtrage adapté aux échos issus d'une direction de visée donnée consiste par exemple à :

- décomposer le signal reçu sur chaque récepteur selon les P composantes émises ;
- appliquer un jeu de NxP phases (une par émetteur et par récepteur), jeu qui dépend de la direction de visée ;
- additionner les NxP signaux ainsi déphasés.

[0010] Il existe d'autres façons d'organiser le traitement, par exemple en traitant par sous-bandes, ou en appliquant des retards purs au lieu des déphasages.

[0011] La figure 2 illustre le problème des lobes secondaires dus au réseau d'antenne lacunaire. Le réseau de réception 2 est seul illustré sur cette figure. Une cible 20 renvoie vers les récepteurs élémentaires $R_1, \dots, R_j, \dots, R_N$ les signaux émis par les émetteurs du réseau. Dans une direction donnée 21 concentrique par rapport au réseau 2, il y a une distribution des lobes de réception, c'est-à-dire le lobe principal 22 et ses lobes secondaires. Ces lobes sont obtenus par formation de faisceaux par le calcul et par compression d'impulsion, par des moyens de traitements reliés aux modules de réception élémentaires. Les lobes secondaires 23 sont répartis sur une distance $cT_e/2$ de chaque côté du lobe principal avec un niveau important, et donc perturbateur, T_e étant la durée d'une impulsion émise. A titre d'exemple si $T_e = 100\mu s$, la distance $cT_e/2$ est de l'ordre de 15 kilomètres. Dans les directions 21', 21'' différentes de celles de la cible, donc tout autour du radar, aussi bien en site qu'en gisement, la lacunarité des réseaux émission et réception produit également des lobes secondaires sur la même extension distance.

[0012] La figure 3 illustre la position des modules de réception élémentaires $R_1, R_2, \dots, R_k, R_{k+1}, \dots, R_P$ dans un sous-réseau de réception. Dans une antenne selon l'invention, les modules d'émission et/ou de réception élémentaires sont en effet répartis dans des sous-réseaux d'émission et/ou de réception. Les sous-réseaux sont linéaires, c'est-à-dire que les modules sont alignés. L'espacement entre deux modules consécutifs R_k, R_{k+1} est multiple entier d'un vecteur commun $\vec{P}_{as}$ propre à chaque sous-réseau, le multiple entier pouvant être égal à 1. Le vecteur $\vec{P}_{as}$ sera par la suite appelé pas du sous-réseau. Chaque sous-réseau d'émission ou de réception est donc entièrement décrit par :

- le pas du sous-réseau, c'est-à-dire par trois composantes d'espace ;
- la position du centre C, ou d'un autre point du réseau, par trois coordonnées ;
- le nombre P d'éléments $R_1, R_2, \dots, R_k, R_{k+1}, \dots, R_P$ du sous-réseau.

[0013] Ces données permettent en effet de retrouver la position de chaque élément R_k du sous-réseau.

[0014] Le pas peut être représenté par le vecteur unitaire $\vec{V}$ correspondant à l'orientation du sous-réseau et son facteur d'ambiguïté A de telle sorte que :

$$\vec{P}_{as} = A(\lambda/2)\vec{V} \quad (1)$$

soit :

$$A = \frac{|\vec{P}_{as}|}{\lambda/2} \quad (2)$$

[0015] Dans une antenne selon l'invention, les sous-réseaux tels que définis ci-dessus respectent des contraintes d'orientation et de pas entre éléments afin notamment de maîtriser la fonction d'ambiguïté spatiale, c'est-à-dire de permettre de connaître facilement l'emplacement et le niveau des lobes secondaires, obtenus par formation de faisceau par le calcul, lorsque l'on connaît le niveau et l'emplacement du lobe principal. Il est ainsi possible de faire en sorte que les lobes secondaires soient forts dans une direction donnée et faibles dans une autre. On peut alors par ailleurs en déduire une méthode de régulation de fausse alarme sur lobes secondaires de cibles fortes, et arriver à détecter des cibles faibles entre les lobes secondaires. Les pas des sous-réseaux d'une antenne selon l'invention ne sont donc pas quelconques. Le choix particulier de ces pas s'appuie notamment sur des considérations de géométries des faisceaux formés par les différents sous-réseaux.

[0016] On considère d'abord un seul sous-réseau SR, représenté par un segment de droite, focalisé dans une direction u comme l'illustre la figure 4, ce sous-réseau n'étant pas lacunaire. Puisque le sous-réseau est linéaire, son diagramme de réseau présente une symétrie de révolution autour de l'axe du sous-réseau 41. Son lobe principal présente donc un maximum non seulement dans la direction u mais aussi dans toutes les directions déduites de u par rotation 42 autour de l'axe 41 du réseau. On choisit de représenter toute direction par l'extrémité de son vecteur unitaire. Une direction, par exemple la direction u, est donc représentée par un point sur la sphère 45 de rayon 1. Si on projette ce point dans un plan 43 qui contient l'axe 41 du sous-réseau, le point projeté est alors dans un disque 44 de rayon 1. L'ensemble des directions déduites de u par rotation autour de l'axe 41 du sous-réseau décrit un cercle 42 sur la sphère 45, et projeté sur le plan, un segment de droite 46 orthogonal à l'axe 41 du sous-réseau et limité par le disque 44.

[0017] La figure 5 représente maintenant un réseau constitué de N sous-réseaux, dont trois seulement SR1, SR2 et SR3 sont représentés. Le diagramme de réseau résulte de l'addition des N diagrammes de sous-réseaux. Lorsque les sous-réseaux focalisent dans la di-

rection u précédente, le diagramme résultant est maximal dans cette direction u. Le diagramme de chaque sous-réseau étant de révolution autour de son axe, le diagramme du réseau présente des maxima locaux dans les directions déduites de u par rotation autour de l'axe de chaque sous-réseau. La figure 5 représente par des segments de droites 51, 52, 53 inscrits dans le disque 44 du plan 43 la projection de ces maxima locaux. Ces projections 51, 52, 53 donnent bien sûr la position de ces maxima par rapport au plan 43 qui peut être par exemple le sol. L'intersection 54 de tous ces segments donne la position du lobe principal, les maxima locaux 51, 52, 53 correspondant à des lobes secondaires élevés.

[0018] La figure 6 représente le cas d'un sous-réseau lacunaire SR'. Un sous-réseau est lacunaire lorsque ses éléments, modules élémentaires d'émission ou de réception, sont espacés de plus d'une demi-longueur d'onde, ce qui correspond au cas où le facteur d'ambiguïté A est supérieur à 1, soit $A > 1$ pour cette valeur telle que définie par la relation (2). Un tel sous-réseau, focalisé dans la direction u, présente un maximum non seulement vers u, et les direction déduites par rotation, mais également dans d'autres directions. Ces directions sont représentées dans le disque unité par A segments de droites 61 espacés du vecteur $\vec{H} = (2/A)\vec{V}$, où $\vec{V}$ est le vecteur unitaire indiquant l'orientation du sous-réseau SR' et A est le facteur d'ambiguïté précédemment défini. Ces segments représentent la position du lobe principal du diagramme d'antenne du sous-réseau SR'. Le facteur d'ambiguïté A n'est pas obligatoirement un nombre entier. Si A n'est pas un nombre entier, le nombre de segments de droites est le nombre entier le plus proche de A, c'est-à-dire E(A) ou E(A+1) si E désigne la partie entière de A.

[0019] La figure 7 illustre une extension à deux sous-réseaux lacunaires qui montre un maillage des lobes secondaires. On considère donc un réseau comportant deux sous-réseaux lacunaires orientés selon des vecteurs unitaires $\vec{V}_1$, $\vec{V}_2$ et de facteurs d'ambiguïté A_1 , A_2 . Les vecteurs $\vec{V}_1$, $\vec{V}_2$ définissent respectivement les axes V1 et V2 des deux sous-réseaux. Dans le plan qui contient à la fois l'axe V1 et l'axe V2, les diagrammes des lobes principaux des sous-réseaux sont représentés par des segments de droites 71 séparés de $\vec{H}_1 = (2/A_1)\vec{V}_1$ pour le premier et par des segments de droites 72 séparés de $\vec{H}_2 = (2/A_2)\vec{V}_2$ pour le second. Le diagramme du réseau présente donc des maxima aux intersections entre ces segments 71, 72. Ces maxima sont des points 73 sur un maillage triangulaire. Un triangle élémentaire du maillage a comme hauteurs les vecteurs $\vec{H}_1$, $\vec{H}_2$. Le vecteur $\vec{H}_3$ qui décrit la troisième hauteur est alors imposé, une fois connus les deux premiers. On peut alors montrer que les trois vecteurs vérifient la relation suivante :

$$\frac{\vec{H}_1}{|\vec{H}_1|^2} + \frac{\vec{H}_2}{|\vec{H}_2|^2} + \frac{\vec{H}_3}{|\vec{H}_3|^2} = 0 \quad (3)$$

5 Comme $\vec{H}_k = (2/A_k)\vec{V}_k$ pour $k = 1, 2, 3$, il vient :

$$(A_1/2)\vec{V}_1 + (A_2/2)\vec{V}_2 + (A_3/2)\vec{V}_3 = 0 \quad (4)$$

10 **[0020]** En multipliant la relation (4) par la longueur d'onde λ , on obtient la relation suivante :

$$\text{pas1} + \text{pas2} + \text{pas3} = 0 \quad (5)$$

15 où pas1 et pas2 représentent les vecteur pas des deux sous-réseaux et pas3, le vecteur pas d'un troisième sous-réseau fictif.

[0021] La figure 8 représente le diagramme des lobes principaux d'un réseau comportant un troisième sous-réseaux, dont l'orientation $\vec{V}_3$ et le facteur d'ambiguïté A_3 sont tels que $\vec{H}_3 = (2/A_3)\vec{V}_3$. Le vecteur $\vec{H}_3$ définit la hauteur d'un triangle élémentaire du maillage provoqué par les deux premiers sous-réseaux. Le vecteur pas, pas3, du troisième sous-réseau vérifie donc la relation (5). Dans ce cas, l'association des trois sous-réseaux donne le même maillage triangulaire qu'avec les deux premiers sous-réseaux. Il en serait de même avec l'association de deux sous-réseaux quelconques parmi ces trois.

[0022] Les figure 9a et 9b présentent des exemples inverses où l'on dispose de deux sous-réseaux lacunaires et où le troisième ne respecte pas la condition $\vec{H}_3 = (2/A_3)\vec{V}_3$. Dans le cas de la figure 9a, le vecteur unitaire $\vec{V}_3'$ définissant la direction du troisième sous-réseau n'est pas orienté selon le vecteur $\vec{H}_3$, et l'ambiguïté A_3' est telle que les segments 91 qui décrivent le lobe principal ne passent pas par les points 92 du maillage défini par les deux premiers sous-réseaux. Le maillage est plus serré que dans le cas de la figure 8, et les points d'intersection 92, 99 ne sont plus disposés selon un maillage régulier. La levée d'ambiguïté sera donc plus difficile. Dans ce cas, seule la direction de visée u est commune aux lobes principaux des trois sous-réseaux. L'ambiguïté commune aux deux premiers sous-réseaux est levée par leur association avec le troisième.

[0023] Dans le cas de la figure 9b, le vecteur $\vec{V}_3'$ est bien orienté selon la direction de $\vec{H}_3$, mais la valeur $(2/A_3')$ n'est pas égale au module de $\vec{H}_3$ ni à l'un des ses multiples ou sous-multiples, ni même dans un rapport rationnel. Dans ce cas, les ambiguïtés 98 sont alignées sur un seul segment 91. L'ambiguïté commune aux deux premiers réseaux est partiellement levée avec le troisième.

55 **[0024]** Si le rapport entre $(2/A_3)\vec{V}_3$ et $\vec{H}_3$ est rationnel, c'est-à-dire que $m(2/A_3)\vec{V}_3 = n\vec{H}_3$, où m et n sont des entiers premiers entre eux, alors les lobes principaux se situent sur des segments espacés de $m(2/A_3)\vec{V}_3 = n$

$\vec{H}_3$. Comme cet espacement est plus grand que le précédent, l'ambiguïté est partiellement levée. Si l'espacement $m(2/A_3)$ est supérieur à deux, un seul segment se situe dans le cercle unité, et on est ramené au cas de la figure 9b. L'espacement $m(2/A_3) > 2$ revient à $\frac{|pas3|}{m} < \lambda/2$.

[0025] La structure d'une antenne selon l'invention exploite les considérations géométriques précédentes sur la répartition des lobes d'émission ou de réception. En particulier, le choix des pas de chacun des trois sous-réseaux lacunaires détermine l'ambiguïté spatiale du réseau formé de ces trois sous-réseaux. Il est ainsi possible de choisir des pas allant :

- de l'ambiguïté minimale (aucune autre direction commune que la direction de pointage), ceci pouvant notamment être mis à profit pour mesurer une direction sans ambiguïté bien que les sous-réseaux soient lacunaires ;
- à l'ambiguïté maximale (même directions communes à tous les couples de sous-réseaux), ceci pouvant notamment être mis à profit notamment pour maîtriser la répartition des lobes secondaires, il faut alors d'autres éléments pour lever l'ambiguïté, par exemple d'autres sous-réseaux ou d'autres fréquences, ou encore des informations externes sur la zone de provenance du signal.

[0026] Pour obtenir l'ambiguïté maximale avec trois sous-réseaux, telle qu'illustrée par exemple par la figure 8, il faut lier les pas des sous-réseaux conformément à la relation (5), soit $pas1 + pas2 + pas3 = 0$. Avec ce lien entre les sous-réseaux, la fonction d'ambiguïté est périodique selon un motif triangulaire. Le triangle de périodicité est défini par ses hauteurs $\vec{H}_k$, orientées dans la même direction que les sous-réseaux, et de longueur égale à $2/A_k$, ce qui se traduit par $\vec{H}_k = (2/A_k)\vec{V}_k$ pour $k = 1, 2, 3$ et où $\vec{V}_k$ est le vecteur unitaire indiquant la direction du $k^{\text{ième}}$ sous-réseau.

[0027] La figure 10 montre un exemple de maillage correspondant à une ambiguïté maximale pour trois sous-réseaux lacunaires. Le point le plus gros 101 représente la direction de pointage. Les autres points représentent les directions associées liées à l'ambiguïté spatiale. Inversement, pour assurer l'ambiguïté minimale avec trois sous-réseaux lacunaires, il faudrait que le pas du troisième sous-réseau $pas3$ ne soit pas colinéaire avec $pas1 + pas2$, la somme vectorielle des pas des deux autres réseaux. Il est également possible d'aboutir à l'ambiguïté minimale en associant plus de trois sous-réseaux, par exemple en utilisant un réseau de six sous-réseaux dont trois vérifient la relation (5), les trois autres également, mais avec des valeurs de pas différentes, par modification de l'orientation et/ou du module des pas.

[0028] On peut revenir à l'exemple d'un réseau formé de trois sous-réseaux où la relation (5) est vérifiée. Pour chaque sous-réseau, la focalisation dans une direction

de visée donnée 101 est réalisée par un filtre spatial. Donc toute direction de visée est associée à trois filtres. Inversement, trois filtres donnés correspondent à plusieurs directions 102, 103, déduites de la première 101, dans le plan des cosinus directeurs, par une translation définie par le vecteur $n_1 \vec{H}_1 + n_2 \vec{H}_2 + n_3 \vec{H}_3$, où n_1, n_2, n_3 sont des entiers.

[0029] La figure 11 illustre le cas d'un réseau à six sous-réseaux où la relation (5) est vérifiée séparément sur deux ensembles de trois sous-réseaux, avec des pas homothétiques dans un rapport rationnel P/Q , P et Q étant des entiers premiers entre eux et P étant inférieur à Q . Il en résulte que $P\vec{H}_k = Q\vec{H}'_k$, pour $k = 1, 2, 3$, $\vec{H}_k$ représentant les hauteurs correspondantes aux trois sous-réseaux du premier ensemble et $\vec{H}'_k$ représentant les hauteurs correspondantes aux trois sous-réseaux du deuxième ensemble. La maille d'ambiguïté spatiale du premier sous-réseau est alors dilatée d'un facteur P/Q par rapport au deuxième sous-réseau. Chaque direction de l'espace est définie, modulo cette ambiguïté, par six filtres spatiaux. La figure 11 illustre un cas particulier où $P=2$ et $Q=3$. Le triangle le plus grand 110 représente l'ambiguïté de l'ensemble. Le triangle intermédiaire 111, ayant des côtés deux fois plus petits que le précédent, représente l'ambiguïté du premier ensemble de trois sous-réseaux. Le triangle le plus petit 112, ayant des côtés trois fois plus petits, représente l'ambiguïté du deuxième ensemble de trois sous-réseaux. On voit donc qu'en choisissant le rapport P/Q , on peut aboutir à un triangle d'ambiguïté 110 plus grand, d'un rapport P^2 par rapport au triangle intermédiaire 111. Cela réduit d'autant la levée d'ambiguïté à effectuer après les traitements à ces sous-réseaux. C'est en jouant notamment sur la position des centres des sous-réseaux que l'on fait en sorte que l'ambiguïté spatiale puisse être levée lors de ces traitements. La position des centres des sous-réseaux définit également la largeur des faisceaux finaux.

[0030] La figure 12 illustre un exemple de position des sous-réseaux à l'intérieur d'un réseau, qui peut être d'émission ou de réception. Ce réseau comporte un premier ensemble de trois sous-réseaux SR1, SR2, SR3 de pas respectifs $pas1, pas2, pas3$, et un deuxième ensemble de trois sous-réseaux SR'1, SR'2, SR'3 de pas respectifs $pas'1, pas'2, pas'3$. Les pas de chacun des ensembles vérifient la relation (5). Le réseau ainsi réalisé forme par exemple un hexagone.

[0031] D'autres formes de réseaux sont bien sûr possibles. Une antenne selon l'invention comporte au moins trois sous-réseaux et on joue sur les pas de ces derniers. Ainsi, dans un premier mode de réalisation possible, le pas des sous-réseaux ne prend que trois valeurs $pas1, pas2, pas3$ qui vérifient la relation vectorielle (5). Il est ainsi possible de réaliser un ensemble de trois sous-réseaux disposés par exemple en triangle ou en Y. Dans un autre mode de réalisation, le pas des sous-réseaux prend des valeurs parmi plusieurs triplets liés par la relation (5). C'est par exemple le cas de l'an-

tenne illustrée par la figure 12 où le pas prend les valeurs parmi les deux triplets de vecteurs (pas1, pas2, pas3) et (pas'1, pas'2, pas'3). Dans un autre exemple de réalisation, les pas des sous-réseaux d'émission prennent des valeurs parmi un premier triplet (pasE1, pasE2, pasE3) et les pas sous-réseaux de réception parmi un autre triplet (pasR1, pasR2, pasR3). Il est aussi possible que les pas des sous-réseaux d'émission prennent des valeurs parmi deux triplets (pas1, pas2, pas3) et (pas'1, pas'2, pas'3) et les pas des sous-réseaux de réception parmi ces mêmes triplets. Les triplets peuvent avoir des pas colinéaires, c'est-à-dire que $\text{pas1} = a_1 \text{pas}'1$, $\text{pas2} = a_2 \text{pas}'2$, $\text{pas3} = a_3 \text{pas}'3$. Dans ce cas, le rapport entre les pas de sous-ensembles de sous-réseaux peut être un rapport rationnel pour donner un maillage du type de la figure 11, c'est-à-dire que $\text{pas1}/m_1 = \text{pas}'1/m'_1$, $\text{pas2}/m_2 = \text{pas}'2/m'_2$, $\text{pas3}/m_3 = \text{pas}'3/m'_3$, où les coefficients m_k et m'_k sont des entiers premiers entre eux. La disposition des sous-réseaux peut aussi correspondre au maillage des figures 9a ou 9b ne permettant pas de lever l'ambiguïté spatiale, mais l'association des sous-ensembles permet de la lever. En particulier le pas des sous-ensembles de réseaux vérifie non seulement $\text{pas1}/m_1 = \text{pas}'1/m'_1$, $\text{pas2}/m_2 = \text{pas}'2/m'_2$, $\text{pas3}/m_3 = \text{pas}'3/m'_3$ mais de plus $\frac{|\text{pas}_k|}{m_k} < \lambda/2$, pour $k = 1, 2, 3$ alors que $|\text{pas}_k| > \lambda/2$.

[0032] L'invention s'applique pour des antennes réparties en réseau, pour l'émission et/ou la réception. Elle a été décrite pour une fonction radar. Elle peut s'appliquer à d'autres domaines que celui de l'électromagnétisme. Elle peut notamment s'appliquer pour des réseaux acoustiques ou optiques. Avantagusement, l'invention ne nécessite pas de réalisation particulière au niveau du traitement des signaux. Elle impose ses contraintes sur la structure géométrique des réseaux. Il va donc de soi que l'invention est simple à mettre en oeuvre et qu'elle est économique.

Revendications

1. Antenne en réseau, **caractérisée en ce qu'elle** comporte au moins trois sous-réseaux linéaires, l'espacement entre éléments successifs d'un même sous-réseau étant un multiple entier d'un vecteur commun formant le pas du sous-réseau, le pas des sous-réseaux prenant des valeurs parmi plusieurs triplets de vecteurs (pas1, pas2, pas3) vérifiant :

$$\text{pas1} + \text{pas2} + \text{pas3} = 0$$

2. Antenne selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** les sous-réseaux sont lacunaires.
3. Antenne selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** les pas des sous-réseaux ne prennent que trois valeurs pas1,

pas2, pas3.

4. Antenne selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2, **caractérisée en ce que** les pas des sous-réseaux d'émission prennent des valeurs parmi un premier triplet (pasE1, pasE2, pasE3) et les pas sous-réseaux de réception parmi un autre triplet (pasR1, pasR2, pasR3).
5. Antenne selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2, **caractérisée en ce que** les pas des sous-réseaux d'émission et/ou de réception prennent des valeurs parmi au moins deux triplets (pas1, pas2, pas3) et (pas'1, pas'2, pas'3).
6. Antenne selon la revendication 5, **caractérisée en ce que** les triplets ont des pas colinéaires de telle sorte que $\text{pas1} = a_1 \text{pas}'1$, $\text{pas2} = a_2 \text{pas}'2$, $\text{pas3} = a_3 \text{pas}'3$.
7. Antenne selon la revendication 6, **caractérisée en ce que** le rapport entre les pas des ensembles de sous-réseaux peut être un rapport rationnel, de telle sorte que $\text{pas1}/m_1 = \text{pas}'1/m'_1$, $\text{pas2}/m_2 = \text{pas}'2/m'_2$, $\text{pas3}/m_3 = \text{pas}'3/m'_3$, où les coefficients m_k et m'_k ($k = 1, 2, 3$) sont des entiers premiers entre eux.
8. Antenne selon la revendication 7, **caractérisée en ce que** les pas vérifient $\frac{|\text{pas}_k|}{m_k} < \lambda/2$ ($k = 1, 2, 3$) pour au moins l'un des sous-ensembles de réseaux, λ étant la longueur d'onde émise.
9. Antenne selon l'une quelconque des revendications 5 à 8, **caractérisée en ce que** les pas des sous-réseaux de réception prennent des valeurs parmi ces mêmes triplets (pas1, pas2, pas3) et (pas'1, pas'2, pas'3).
10. Antenne selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** l'espacement entre les éléments successifs d'un sous-réseau est le pas.
11. Antenne selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce qu'elle** émet et reçoit des ondes pour un radar à formation de faisceau par le calcul.

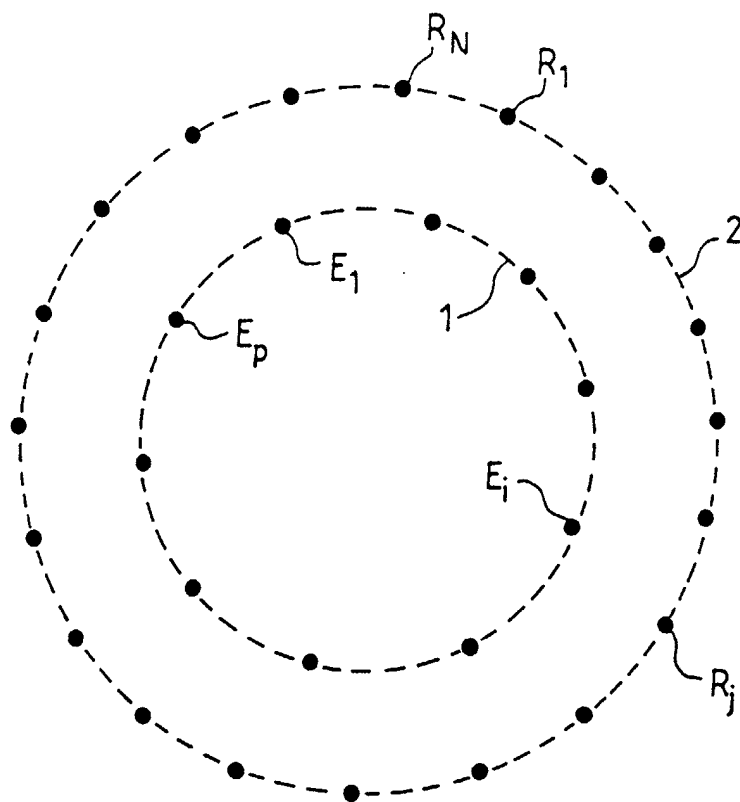


FIG.1

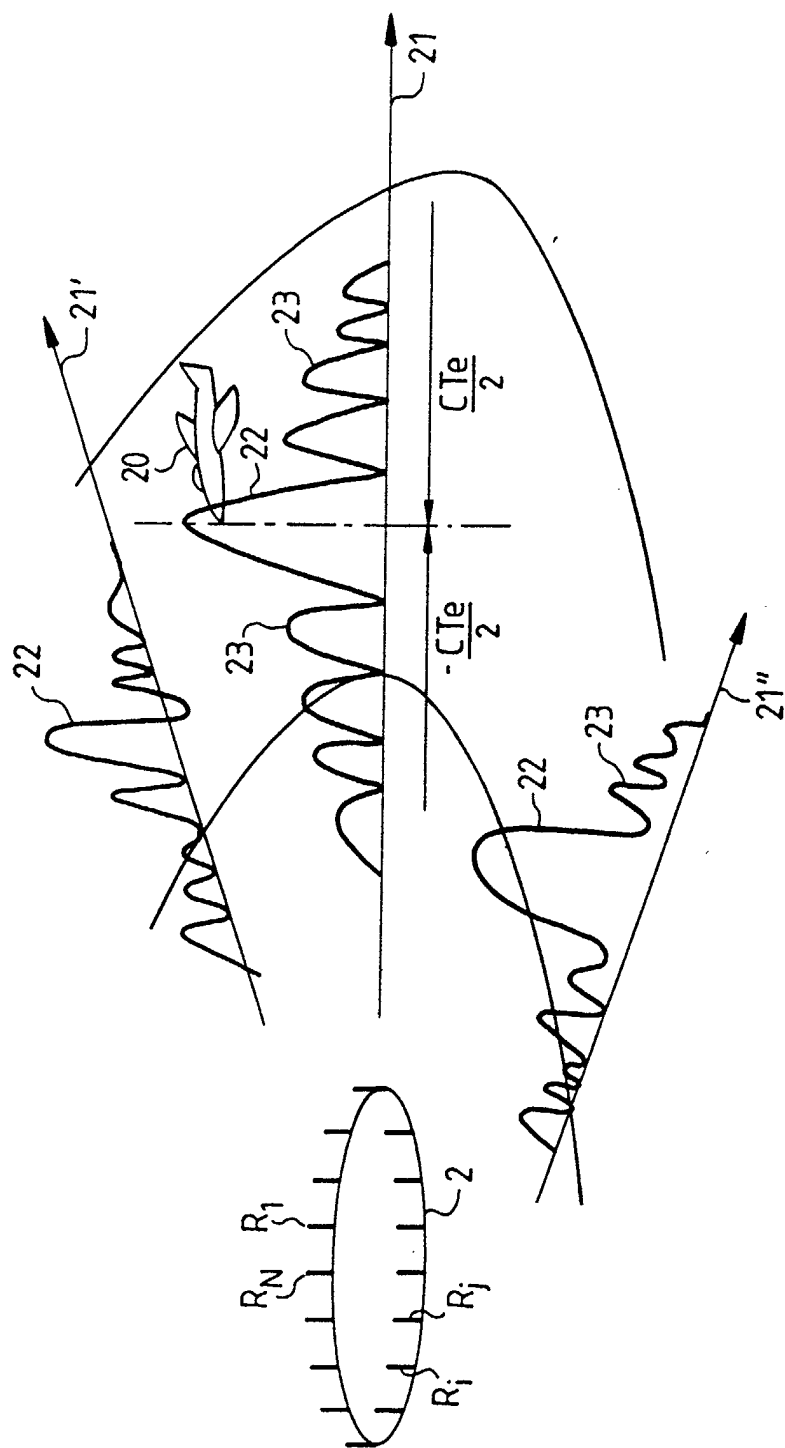


FIG. 2

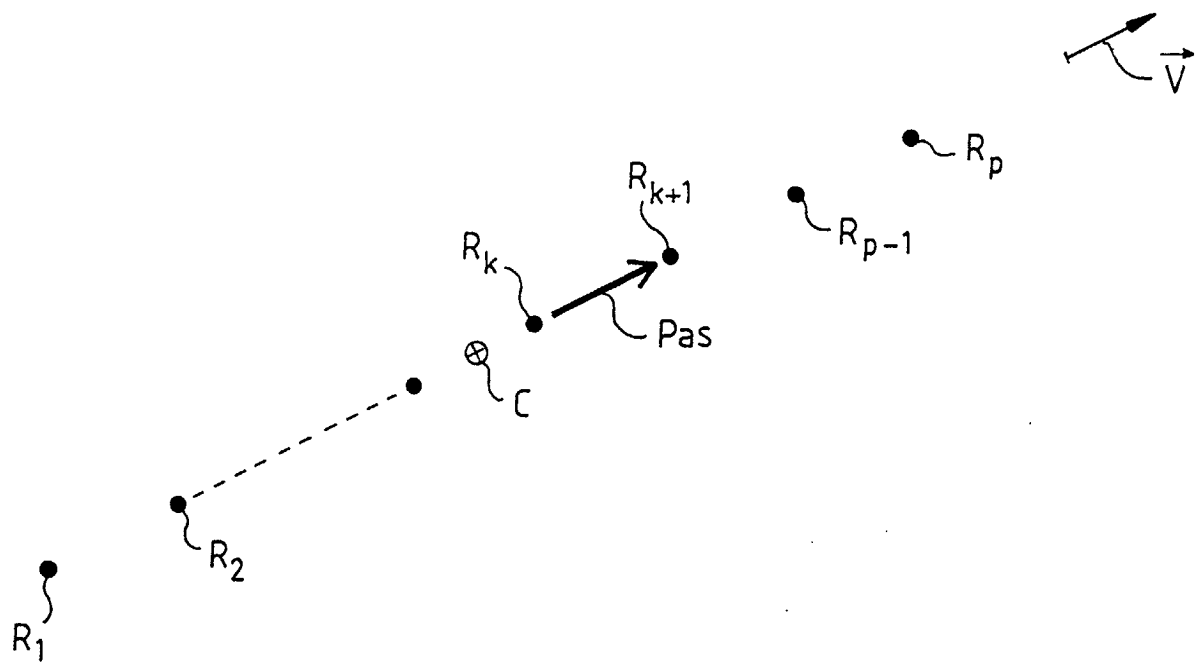


FIG.3

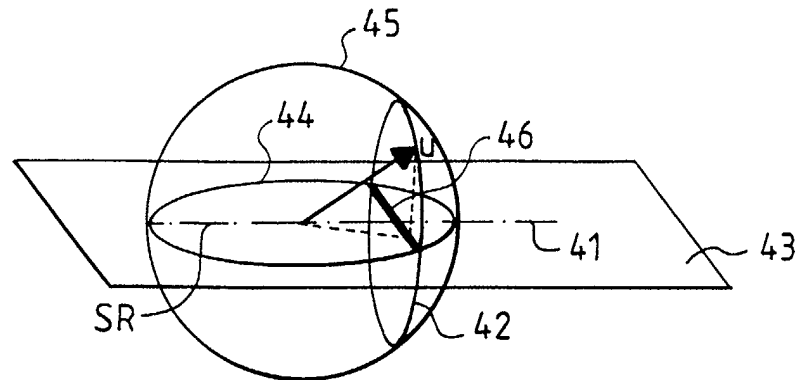


FIG. 4

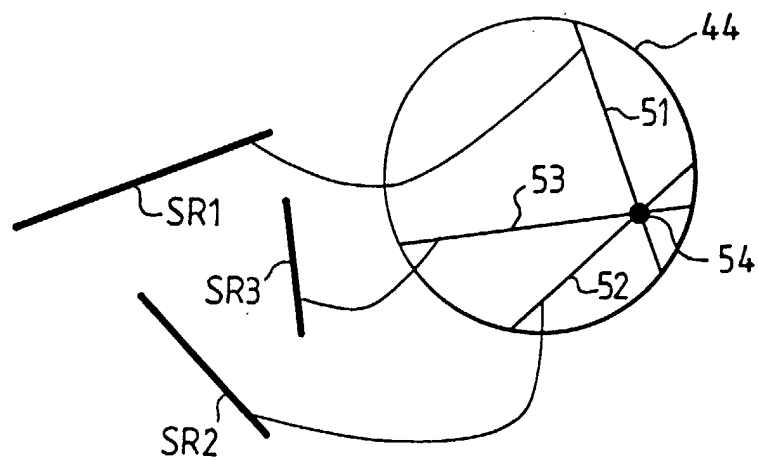


FIG. 5

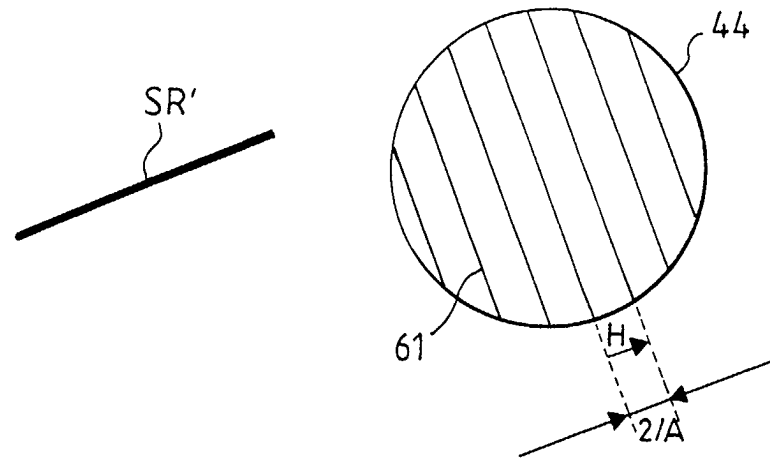


FIG. 6

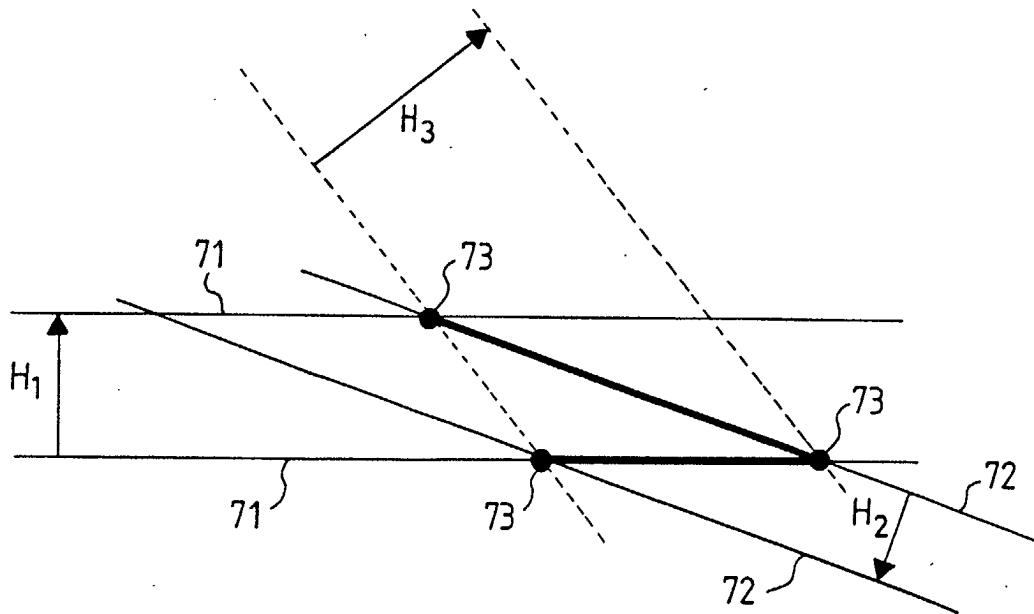


FIG. 7

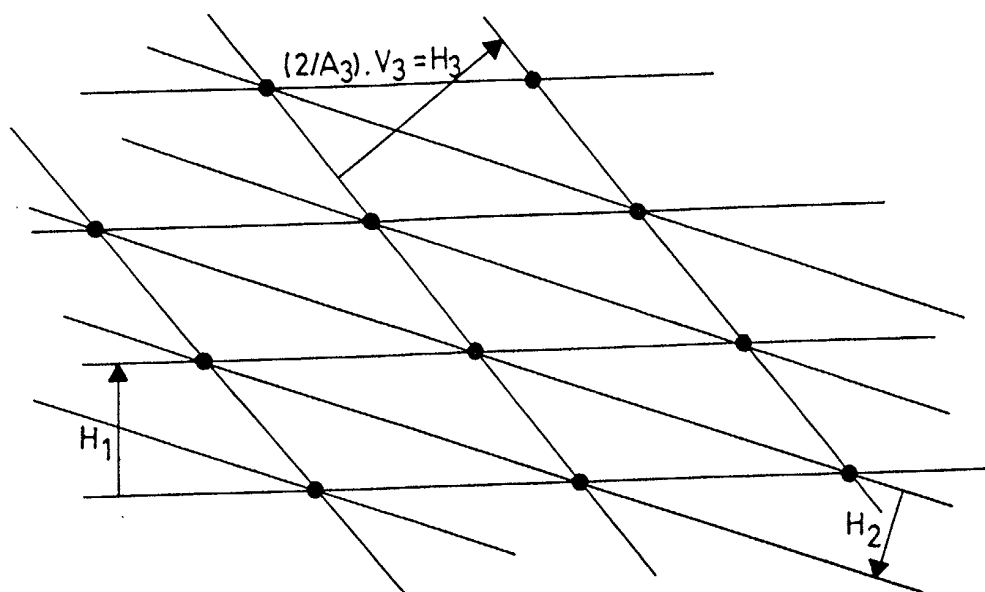


FIG. 8

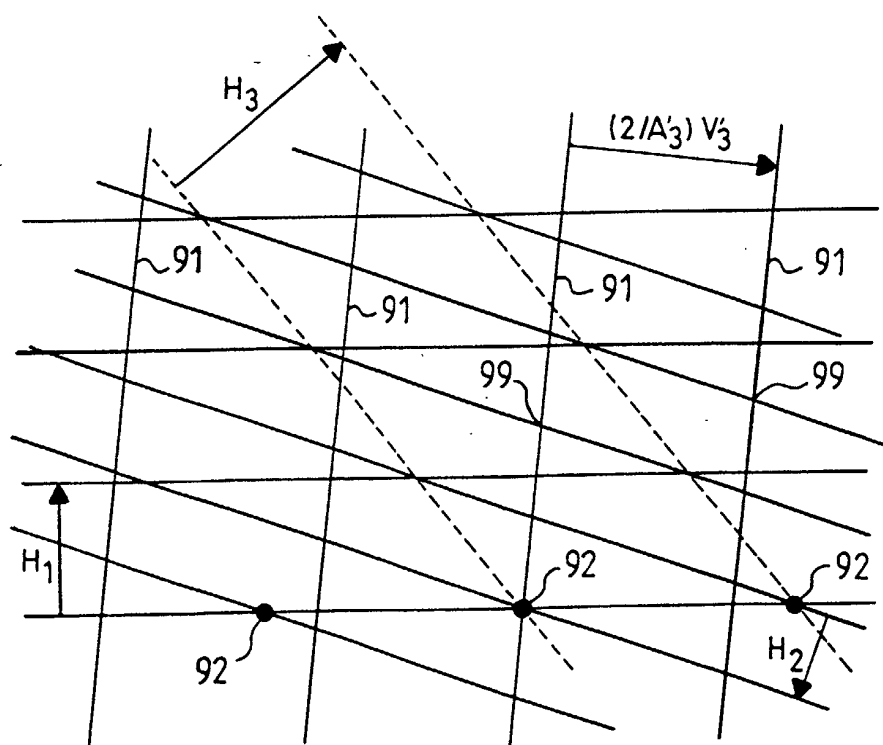


FIG. 9a

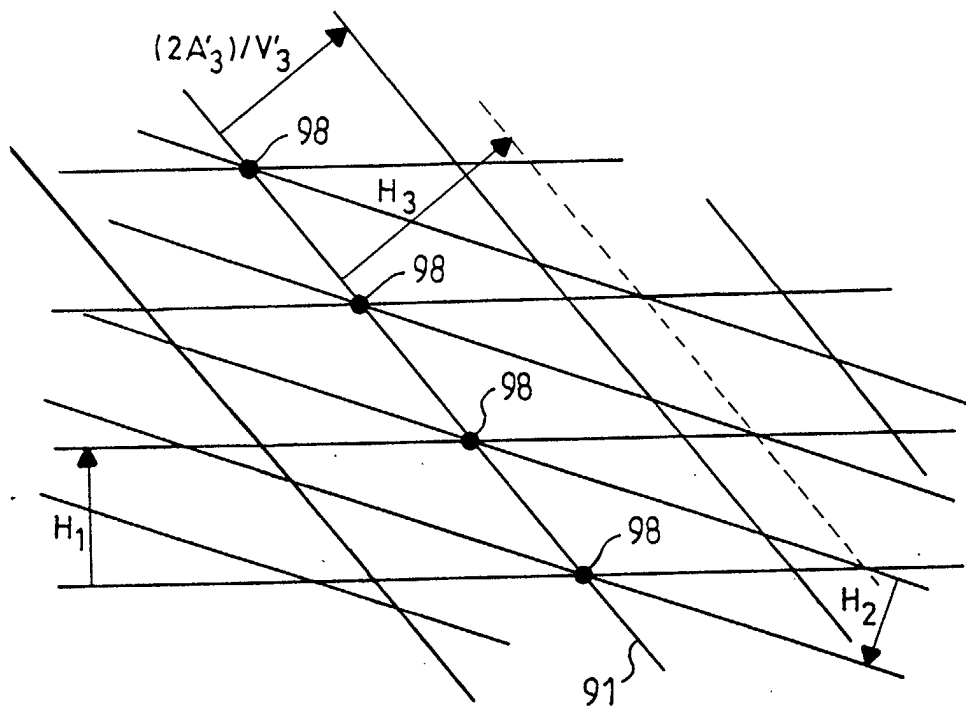


FIG. 9b

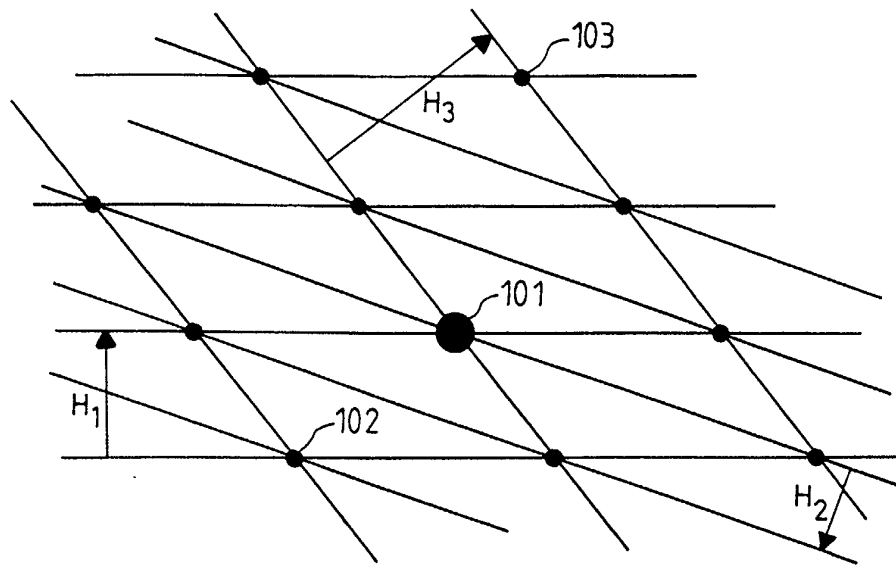


FIG.10

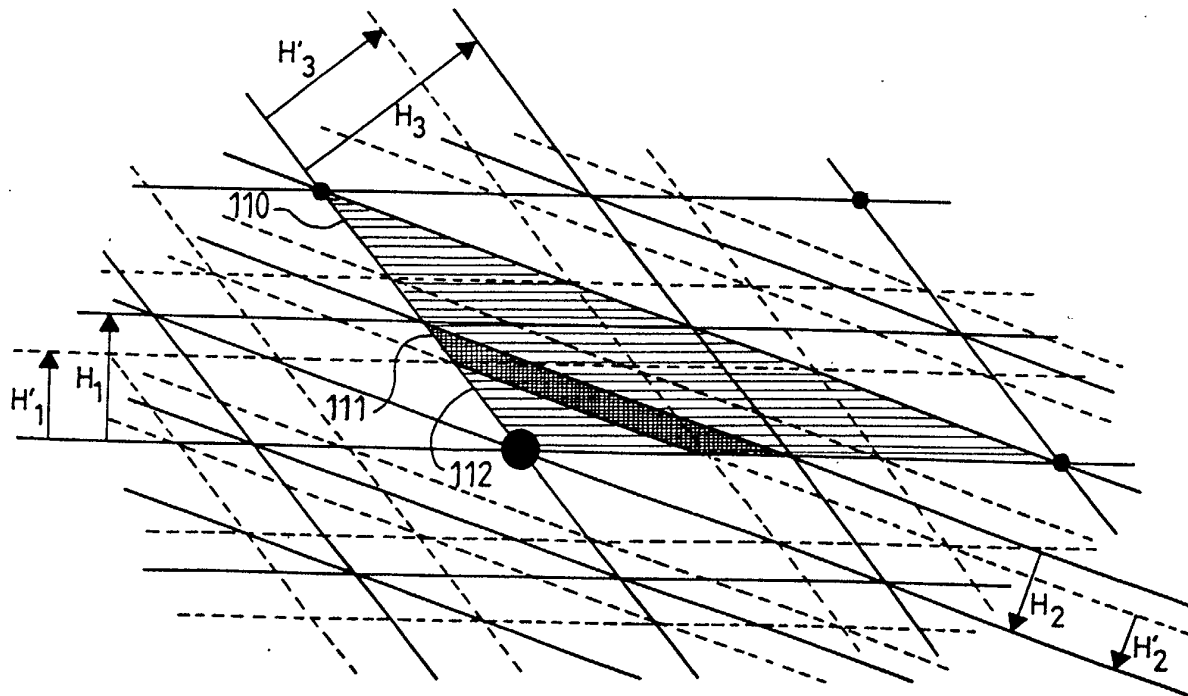


FIG.11

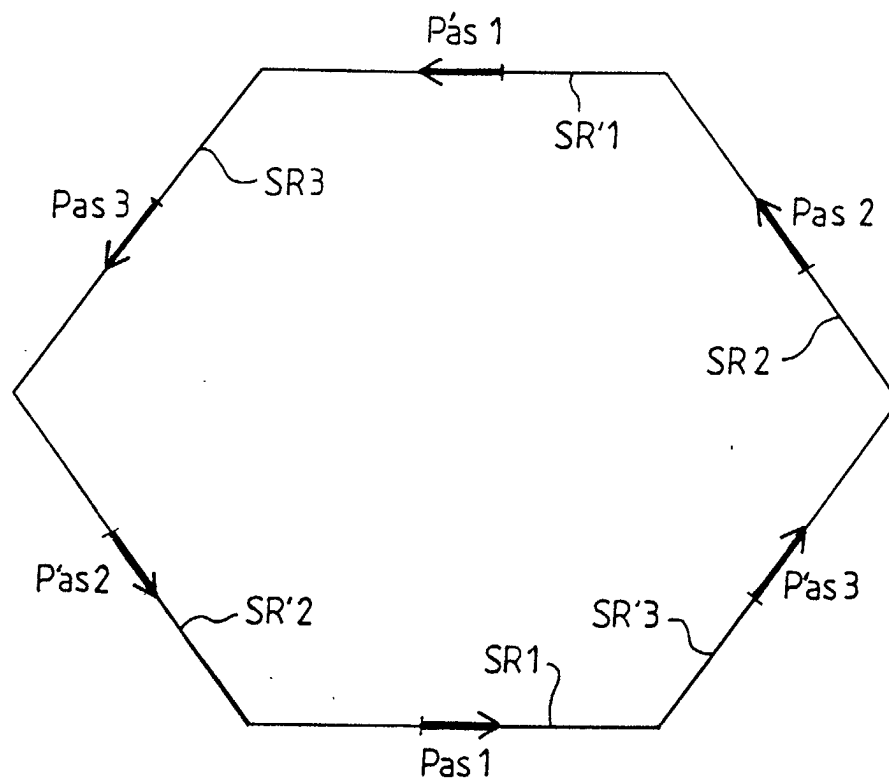


FIG.12



Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande
EP 02 29 0732

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int.Cl.7)
A	US 4 780 722 A (CUSDIN ANTHONY R) 25 octobre 1988 (1988-10-25) * colonne 4, ligne 32 - ligne 68 * * colonne 5, ligne 1 - ligne 38 * * colonne 6, ligne 21 - ligne 27; figures 2, 6 *	1	H01Q21/06 H01Q21/28
D,A	FR 2 709 835 A (THOMSON CSF) 17 mars 1995 (1995-03-17) * le document en entier *	1	
A	US 6 140 963 A (AZZARELLI TEODORO ET AL) 31 octobre 2000 (2000-10-31) * colonne 6, ligne 3 - ligne 64; figure 3 *	1	
A	VOIPIO ET AL: "Narrowbeam cylindrical antenna array with sparse antenna spacing" VEHICULAR TECHNOLOGY CONFERENCE, 1998. VTC 98. 48TH IEEE OTTAWA, ONT., CANADA 18-21 MAY 1998, NEW YORK, NY, USA, IEEE, US, 18 mai 1998 (1998-05-18), pages 465-469, XP010287821 ISBN: 0-7803-4320-4 * le document en entier *	1	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.7)
			H01Q G01S
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
LA HAYE		1 juillet 2002	Moumen, A
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 02 29 0732

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.

Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

01-07-2002

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 4780722	A	25-10-1988	GB 2189363 A	21-10-1987
			AU 593093 B2	01-02-1990
			AU 7159187 A	22-10-1987
			CA 1265602 A1	06-02-1990
			DE 3750556 D1	27-10-1994
			EP 0241992 A2	21-10-1987
			JP 62289781 A	16-12-1987
FR 2709835	A	17-03-1995	FR 2709835 A1	17-03-1995
			DE 3820059 A1	01-06-1995
			GB 2285549 A , B	12-07-1995
			US 5874917 A	23-02-1999
US 6140963	A	31-10-2000	AUCUN	

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No. 12/82