

(19)



(11)

EP 3 075 029 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:

17.11.2021 Bulletin 2021/46

(51) Int Cl.:

H01Q 3/26 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **14800026.8**

(86) Numéro de dépôt international:

PCT/EP2014/074822

(22) Date de dépôt: **18.11.2014**

(87) Numéro de publication internationale:

WO 2015/078721 (04.06.2015 Gazette 2015/22)

(54) **PROCEDE D'ORIENTATION DU FAISCEAU D'UNE ANTENNE A BALAYAGE ELECTRONIQUE
ET SYSTEME D'EMISSION/RECEPTION METTANT EN UVRE UN TEL PROCEDE**

**VERFAHREN ZUR AUSRICHTUNG DES STRAHLS EINER ELEKTRONISCH ABTASTANTENNE
UND SENDE-/EMPANGSSYSTEM ZUR DURCHFÜHRUNG DIESES VERFAHRENS**

**METHOD FOR ORIENTING THE BEAM OF AN ELECTRONIC SCANNING ANTENNA, AND
SENDING/RECEIVING SYSTEM IMPLEMENTING SUCH A METHOD**

(84) Etats contractants désignés:

**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

• **AMAR, Jaki**

F-78851 Elancourt Cedex (FR)

• **FREYSSINIER, Philippe**

F-78851 Elancourt Cedex (FR)

(30) Priorité: **29.11.2013 FR 1302778**

(74) Mandataire: **Marks & Clerk France**

Immeuble "Visium"

22, avenue Aristide Briand

94117 Arcueil Cedex (FR)

(43) Date de publication de la demande:

05.10.2016 Bulletin 2016/40

(73) Titulaire: **Thales**

92400 Courbevoie (FR)

(56) Documents cités:

FR-A1- 2 949 610 US-A- 5 680 141

US-A1- 2010 033 375 US-B1- 6 320 538

(72) Inventeurs:

• **RENARD, Christian Michel**

F-78851 Elancourt Cedex (FR)

• **None**

EP 3 075 029 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

[0001] La présente invention concerne un procédé d'orientation du faisceau rayonné d'une antenne à balayage électronique. Elle concerne également un système d'émission et de réception électromagnétique mettant en œuvre un tel procédé. Elle s'applique notamment pour tous types d'antennes à balayage électronique, utilisées par exemple dans des radars, des systèmes de télécommunication ou des réseaux multifonctions.

[0002] Les antennes à balayage électroniques sont formées de modules disposés en réseau. Chaque module comporte au moins un élément rayonnant contribuant à la constitution du faisceau d'émission et/ou de réception. Il est connu que la direction du faisceau rayonné est déterminée par la phase appliquée au signal émis ou reçu au niveau de chaque élément rayonnant. En d'autres termes, la direction du faisceau rayonné est commandée par les phases appliquées sur les éléments rayonnants selon une loi connue. Les modules peuvent être actifs ou non, les modules actifs intégrant de plus un amplificateur du signal émis.

[0003] Ainsi, une antenne réseau à balayage électronique présente, par exemple pour un radar, une architecture hyperfréquence consistant en des voies comprenant en particulier des modules amplificateurs pouvant être utilisés à l'émission et à la réception, associés à des circuits multifonctions comportant des éléments de déphasage pour pointer le faisceau dans des directions autre que la normale au réseau, chaque module étant équipé d'un élément rayonnant.

[0004] Un inconvénient des antennes à balayage électroniques est qu'elles subissent un dépointage du faisceau rayonné en fonction de la température. Un tel dépointage n'est pas admissible avec les précisions angulaires exigées pour la plupart des applications radar notamment. Ce dépointage est dû à la déformation mécanique de l'antenne. Plus particulièrement quand la température croît, la structure en réseau se dilate. Dans l'autre sens, lorsque la température décroît, la structure se contracte. Dans tous les cas, les commandes de phases utilisées pour pointer angulairement le faisceau rayonné ne sont plus valides et conduisent à une erreur de pointage pouvant devenir rédhibitoire.

[0005] Une solution connue pour résoudre ce problème est d'effectuer un calibrage du réseau à balayage électronique. Pour cela, on échantillonne la plage de température de fonctionnement de l'antenne, donc entre la température minimale de fonctionnement et la température maximale de fonctionnement, et on relève les défauts d'éclairement, en amplitudes et phases des différentes voies hyperfréquence du réseau, une voie étant associée à chaque module du réseau. Les défauts mesurés lors de phase de calibrage sont stockés dans une table, dite table de calibrage. En phase opérationnelle, on connaît ainsi les défauts en fonction de la température par lecture dans la table de calibrage. A une température donnée, on peut ainsi corriger le défaut lu dans la table en modifiant les valeurs de phases pour compenser ce défaut.

[0006] Un inconvénient de cette solution est qu'elle est délicate et longue à mettre en œuvre. Il faut en effet faire les mesures pour chaque température et les reporter dans la table de calibrage. Le nombre de mesures est important car il faut échantillonner suffisamment la plage de températures de fonctionnement et les mesures elles-mêmes doivent être faites avec précaution en raison des faibles dépointages en jeu. Bien que faibles, ces dépointages peuvent cependant nuire à la précision de détection d'un radar. Un document US 6 320 538 B1 traite la déformation mécanique d'une antenne formée d'un réflecteur éclairé en son foyer par un réseau de sources phasées.

[0007] Un document US2010/0033375 A1 divulgue un procédé de correction du calibrage d'un système d'antenne réseau pour compenser les variations de températures.

[0008] Un but de l'invention est de pallier les inconvénients précités. A cet effet, l'invention a pour objet un procédé d'orientation du faisceau d'une antenne à balayage électronique tel que défini par les revendications.

[0009] L'invention a également pour objet un système d'émission et de réception électromagnétique mettant en œuvre le procédé précédent, tel que défini par les revendications.

[0010] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à l'aide de la description qui suit, faite en regard de dessins annexés qui représentent :

- La figure 1, une illustration du dépointage du faisceau d'une antenne réseau linéaire ;
- La figure 2, une illustration du dépointage du faisceau d'une antenne réseau plan ;
- La figure 3, une illustration des coordonnées sphériques du faisceau ;
- La figure 4, des étapes possibles pour la mise en œuvre du procédé selon l'invention.

[0011] La figure 1 illustre dans une dimension le dépointage d'un faisceau rayonné 1 d'une antenne réseau 10 à balayage électronique, par l'effet d'une variation de température ambiante. Plus particulièrement, la figure 1 présente un réseau linéaire d'éléments rayonnants 2 disposés selon un axe X.

[0012] Dans l'exemple de la figure 1 la variation de température se traduit par une augmentation de température. A l'état nominal, les éléments rayonnants 2, représentés en traits pleins, sont disposés régulièrement le long de l'axe X. Après l'augmentation de température, le réseau de modules se dilate et les éléments rayonnants se retrouvent en position 2', la distance entre deux modules croissant.

[0013] Pour assurer un fonctionnement correct d'une antenne réseau, le maillage du réseau doit être tel qu'aucun lobe de périodicité de réseau n'apparaissent dans l'espace de rayonnement. En règle générale, ce maillage est régulier

comme illustré par la figure 1, en une dimension. Il est défini par la période d'espacement entre les éléments rayonnants 2, définissant l'échantillonnage de l'ouverture rayonnante par ces éléments rayonnants. En première approche, cette condition est obtenue pour un espacement entre deux éléments rayonnants inférieur à λ_m , λ_m étant la longueur d'onde correspondant à la fréquence maximale de fonctionnement de l'antenne 10. Pour une antenne à balayage électronique dont le faisceau dépointe jusqu'à un angle θ_M compté à partir de la normale 3 au réseau 10, cette condition se traduit par un espacement inférieur à $\lambda_m / (1 + \cos \theta_M)$.

[0014] Pour une fréquence de fonctionnement $F = c / \lambda$, on connaît les phases à appliquer sur les éléments rayonnants pour pointer angulairement le faisceau rayonné 1 dans une direction θ . Un élément rayonnant d'ordre i est positionné à une abscisse x_i sur l'axe X. La phase Φ_i à appliquer sur la voie d'ordre i , en degrés, est donnée par la relation suivante :

$$\Phi_i = 360^\circ x_i \sin \theta / \lambda \quad (1)$$

en choisissant par exemple l'origine de l'axe des abscisses X au centre du réseau.

[0015] Pour un réseau régulier dont les éléments rayonnants sont espacés d'une distance d , le pas de phase entre deux voies adjacentes est donc :

$$\Delta \Phi = 360^\circ d \sin \theta / \lambda \quad (2)$$

[0016] Par la suite, l'invention sera décrite pour un réseau régulier, mais elle peut s'appliquer à des réseaux quelconques.

[0017] La relation (2) peut ainsi être définie comme une pente de phase à apporter sur l'ouverture du réseau pour dépointer le faisceau. Cette pente p est définie par la relation suivante :

$$p = 360^\circ \sin \theta / \lambda \quad (3)$$

p définissant en fait une pente de phase par unité de longueur, $\Delta \Phi$ s'exprimant en fonction de la distance d par $\Delta \Phi = p \times d$.

[0018] En inversant la relation (2), il apparaît qu'à une fréquence F donnée, donc à une longueur d'onde λ donnée, la direction angulaire de pointage rayonné θ est donnée par la relation suivante :

$$\theta = \arcsin [(\lambda \cdot \Delta \Phi) / (360^\circ \cdot d)] \quad (4)$$

[0019] Cette relation montre que, à une fréquence donnée, si l'écartement d entre éléments rayonnants augmente, le pointage angulaire θ du faisceau 1 diminue, donc le faisceau dévie vers la normale 3 au réseau comme le montre la figure 1.

[0020] La figure 2 illustre un dépointage de faisceau dans un cas d'application à une antenne réseau plan 20. Le réseau de module est représenté dans un système d'axes X, Y. Les modules 2 sont disposés dans cet exemple selon un maillage rectangulaire.

[0021] Comme dans le cas précédent, à une dimension, on sait calculer les phases à appliquer sur les voies pour pointer le faisceau 1 dans une direction (θ, φ) à une fréquence $F = c / \lambda$, θ et φ étant les angles classiquement définis dans un repère en coordonnées sphériques, comme le montre la figure 3 représentant les coordonnées sphériques (θ, φ) de la direction 11 du faisceau.

[0022] Un élément rayonnant d'ordre i selon l'axe X et d'ordre j sur l'axe Y est positionné à l'abscisse x_i et à l'ordonnée y_j , ayant donc des coordonnées (x_i, y_j) dans le plan X, Y, en choisissant par exemple l'origine des axes au centre du réseau.

[0023] La phase Φ_{ij} à appliquer sur la voie (i, j) , en degrés, est donnée par la relation suivante :

$$\Phi_{ij} = 360^\circ / \lambda \cdot [x_i \sin \theta \cos \varphi + y_j \sin \theta \sin \varphi] \quad (5)$$

[0024] Pour un réseau régulier, par exemple à maille rectangulaire, dont les éléments rayonnants sont espacés d'une distance d_x selon l'axe X et d'une distance d_y selon l'axe Y, le pas de phase entre voies adjacentes est donné par les relations suivantes :

$$\Delta \Phi_1 = 360^\circ d_x \sin \theta \cos \varphi / \lambda \quad \text{selon l'axe X} \quad (6)$$

$$\Delta\Phi_2 = 360^\circ dy \sin\theta \sin\varphi / \lambda \quad \text{selon l'axe Y} \quad (7)$$

[0025] Des expressions similaires peuvent être utilisées pour un maillage régulier non rectangulaire, en particulier pour un maillage triangulaire.

[0026] L'analyse des relations (6) et (7), de façon analogue au cas du réseau linéaire de la figure 1, montre qu'à une fréquence donnée si la distance entre éléments rayonnants augmente selon un axe ou selon les deux axes, le pointage angulaire du faisceau diminue selon un axe ou selon les deux axes, le faisceau déviant vers la normale 3 au réseau 20.

[0027] Une antenne réseau à balayage électronique comporte des voies actives réalisées sous formes de modules montés mécaniquement à partir d'un plan de référence afin de garantir un alignement mécanique correct des modules. Quand la température ambiante varie, il y a une déformation thermomécanique de l'antenne. Si la température augmente, il y a dilatation. Les éléments rayonnants s'écartent les uns des autres. Comme cela a été montré précédemment, pour une commande de la loi de phase effectuant à une fréquence donnée un pointage angulaire donné du faisceau, une dilatation mécanique du réseau conduit à une modification de l'angle de pointage du faisceau qui se rapproche dans ce cas de l'axe 3 de l'antenne. L'effet inverse dans le cas d'une diminution de température, les éléments rayonnants se rapprochant les uns des autres.

[0028] Or, pour un radar, la précision de pointage est une caractéristique essentielle. En effet, on recherche par exemple des précisions de l'ordre du milliradian (environ $0,06^\circ$) pour un radar fonctionnant en bande X.

[0029] Le comportement en température d'un matériau est caractérisé par un coefficient thermique d'expansion, noté CTE par la suite. Par exemple, pour une matière de type alliage léger 5086, ce coefficient CTE est de l'ordre de $24 \cdot 10^{-6}$ par degré Kelvin (K) et par unité de longueur. En d'autres termes, si L_0 est une dimension de référence à la température ambiante T_0 correspondant aux dimensions nominales du maillage, la distorsion de longueur à une température T est exprimée par la relation suivante :

$$\Delta L = \text{CTE} \cdot \Delta T \cdot L_0 \quad (8)$$

$\Delta T = T - T_0$ étant le gradient de température et ΔL la variation de la longueur de référence.

[0030] Par exemple, pour dépointer un faisceau orienté à $\theta_0 = 60^\circ$ à 10 GHz, il faut apporter une pente de phase $p_0 = 360^\circ \sin 60^\circ / \lambda$ avec $\lambda = 30$ mm, la pente étant en $^\circ / \text{mm}$ (degrés par millimètre).

[0031] Un écart de température de ΔT conduit à une dilatation mécanique, donc une modification de la pente de phase p qui devient :

$$p = 360^\circ \sin 60^\circ / \lambda \cdot L_0 / (L_0 - \Delta L) \quad (9)$$

[0032] Pour une faible variation, cette pente peut être donnée par une valeur approchée, soit :

$$p = 360^\circ \sin 60^\circ / [\lambda \cdot (1 + \Delta L/L_0)] \quad (10)$$

[0033] Ce qui conduit à une modification du pointage angulaire du faisceau 1, ce pointage étant donné par son angle θ , en degrés :

$$\theta = \arcsin [\lambda \cdot p_0 / (360 \cdot (1 + \Delta L/L_0))] \quad (11)$$

[0034] Pour une variation de température $\Delta T = 25^\circ$ sur un matériau de coefficient de dilatation $\text{CTE} = 24 \cdot 10^{-6} / \text{K}$ par unité de longueur,

$$\Delta L/L_0 = \text{CTE} \cdot \Delta T = 6 \cdot 10^{-4} \quad (12)$$

[0035] En prenant $p_0 = 360^\circ \sin 60^\circ / \lambda$ de l'exemple précédent, selon les relations (11) et (12), l'angle de pointage du faisceau devient alors :

$$\theta = \arcsin [\sin 60^\circ / (360 \cdot (1 + 6 \cdot 10^{-4}))] = 59,94^\circ$$

[0036] Il s'ensuit que la variation de pointage angulaire est du même ordre que la précision angulaire recherchée.

[0037] La figure 4 illustre les étapes du procédé selon l'invention. L'invention exploite avantageusement la connaissance de la modification par dilatation thermique de la géométrie d'une antenne réseau 10, 20 à balayage électronique pour corriger les commandes de pointage angulaire du faisceau rayonné 1. La contribution de l'erreur liée à la dilatation en température de l'antenne est prise en compte par modélisation afin de compenser par un calcul simple le défaut de pointage angulaire du faisceau rayonné qui en résulte. On peut en effet calculer un modèle du réseau en fonction de la température, des valeurs de déphasage par éléments rayonnants étant associées à chaque température. La plage de température de fonctionnement est échantillonnée de telle sorte qu'un modèle est calculé par pas de températures. On peut prendre par exemple un pas de température égal à 1° Celsius.

[0038] Ainsi selon l'invention, connaissant le coefficient de dilatation, ou de contraction, mécanique de l'antenne en fonction de la température, il est possible d'établir de nouvelles commandes de phase prenant en compte la déformation du réseau d'antenne pour pointer le faisceau rayonné dans la bonne direction angulaire.

[0039] Dans une étape préliminaire 30, on calcule pour chaque température un modèle géométrique associé. Plus précisément, on calcule la position des éléments rayonnants. Les positions sont calculées par rapport à des positions nominales correspondant à la température de référence T_0 , par exemple 20°C. En particulier, pour chaque élément rayonnant 2, on sait calculer à partir du coefficient de dilatation thermique CTE sa position par rapport à sa position nominale, en fonction de la température. On modélise la géométrie de l'antenne sur sa plage de température de fonctionnement, pour des valeurs de températures échantillonnées entre la température minimale et la température maximale.

[0040] Pour pointer angulairement le faisceau dans une direction donnée (θ , φ) à une température T s'écartant d'une valeur ΔT de la température de référence T_0 , il faut appliquer sur le réseau d'éléments rayonnants (i , j) positionnés suivant des coordonnées (x_i , y_j) une phase :

$$\Phi_{ij} = 360^\circ / \lambda \cdot [x_i \sin\theta \cos\varphi + y_j \sin\theta \sin\varphi] \quad \text{conformément à la relation (5)}$$

où les coordonnées (x_i , y_j) s'écartent des coordonnées (x_{0i} , y_{0j}) à la géométrie initiales correspondant à la température de référence T_0 . L'écart est d'une valeur relative CTE. ΔT .

[0041] On revient à la figure 4. En fonctionnement 300, avant la phase 32 de calcul de pointage du faisceau rayonné, une phase 31 de mesure de la température est effectuée. La température mesurée indique le modèle géométrique d'antenne à prendre en compte pour le calcul du faisceau. En particulier, ce modèle précise les coordonnées (x_i , y_j) des éléments rayonnants à prendre en compte pour le calcul du faisceau par application des phases Φ_{ij} aux éléments rayonnants selon la relation (5).

[0042] Ainsi dans la première phase 31, la température au niveau du réseau 20 est mesurée, puis le modèle correspondant à cette température est sélectionné. Les modèles étant calculés pour les températures échantillonnées selon un pas donné, un modèle correspond à une température mesurée si cette température mesurée se situe dans le pas d'échantillonnage pour lequel est calculé le modèle.

[0043] Dans la deuxième phase 32, on calcule les phases à appliquer sur les signaux des éléments rayonnants pour le modèle sélectionné en fonction de la direction de visée souhaitée (θ , φ).

[0044] Dans le cas d'application à une antenne linéaire, à une dimension, on appliquera des phases définies selon la relation (1) en fonction de l'abscisse x_i .

[0045] L'étape 30 de modélisation géométrique du réseau d'antenne fonction de la température peut être effectuée une fois pour toute ou périodiquement selon les évolutions mécaniques de l'antenne.

[0046] La modélisation peut avantageusement prendre en compte, en plus du support mécanique, tous les éléments constitutifs de l'antenne réseau dont le comportement varie en température, ces éléments pouvant être notamment des éléments actifs ou des lignes de transmissions.

[0047] L'invention s'applique avantageusement pour tous systèmes d'émission et de réception d'ondes électromagnétiques équipé d'une antenne à balayage électronique, tels que des systèmes radar ou des systèmes de télécommunications par exemple. Outre les composants d'émission et de réception connus par ailleurs, un tel système d'émission et de réception comporte les moyens de calcul et de commande des phases des éléments rayonnants. Il comporte aussi par exemple en mémoire les modèles associés aux différentes températures. Au minimum, un modèle est mémorisé par la mémorisation des coordonnées (x_i , y_j) des éléments rayonnants dans un système d'axes.

Revendications

1. Procédé d'orientation du faisceau d'une antenne à balayage électronique, ladite antenne (10, 20) étant composée d'un réseau d'éléments rayonnants disposée selon une configuration géométrique initiale à une température de référence (T_0), ledit procédé comportant :

- une étape préliminaire (30) d'établissement de modèles de configuration géométrique dudit réseau fonction de la température,
- une étape d'orientation dudit faisceau effectuée par :

- 5
- une première phase (31) de mesure de la température dudit réseau pour sélectionner un modèle correspondant à la température mesurée ;
 - une deuxième phase (32) de calcul des phases, fonction de la direction visée (θ , φ), à appliquer sur les signaux des éléments rayonnants (2, 2') pour le modèle sélectionné.

10

ledit procédé étant **caractérisé en ce que** les modèles de configuration géométrique indiquent la position géométrique desdits éléments rayonnants (2, 2') par rapport à un système d'axe et sont calculés par rapport à ladite configuration initiale en fonction de la température et d'un coefficient de dilatation thermique CTE propre aux éléments rayonnants dudit réseau,

15

ledit réseau étant plan, la position des éléments rayonnants (2, 2') est définie par leurs coordonnées (x_i , y_j) dans un système d'axes X, Y, lesdites phases étant fonction desdites coordonnées.

2. Procédé d'orientation du faisceau d'une antenne à balayage électronique, ladite antenne (10, 20) étant composée d'un réseau d'éléments rayonnants disposés selon une configuration géométrique initiale à une température de référence (T_0), ledit procédé comportant :

- 20
- une étape préliminaire (30) d'établissement de modèles de configuration géométrique dudit réseau fonction de la température,
 - une étape d'orientation dudit faisceau effectuée par :

- 25
- une première phase (31) de mesure de la température dudit réseau pour sélectionner un modèle correspondant à la température mesurée ;
 - une deuxième phase (32) de calcul des phases, fonction de la direction visée (θ , φ), à appliquer sur les signaux des éléments rayonnants (2, 2') pour le modèle sélectionné.

30

ledit procédé étant **caractérisé en ce que** les modèles de configuration géométrique indiquent la position géométrique desdits éléments rayonnants (2, 2') par rapport à un système d'axe et sont calculés par rapport à ladite configuration initiale en fonction de la température et d'un coefficient de dilatation thermique CTE propre aux éléments rayonnants dudit réseau, ledit réseau étant linéaire, la position des éléments rayonnants (2) est définie par leurs abscisses (x_i) le long d'un axe X, lesdites phases étant fonction desdites abscisses.

- 35
3. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** ladite antenne (10, 20) fonctionnant dans une plage de température donnée, les modèles sont calculés pour les températures échantillonnées entre la valeur minimale et la valeur maximale de la plage selon un pas donné.

- 40
4. Système d'émission et de réception d'ondes électromagnétiques, comportant une antenne à balayage électronique, ladite antenne (10, 20) étant composée d'un réseau plan ou linéaire d'éléments rayonnants disposés selon une configuration géométrique initiale à une température de référence (T_0), ledit système étant configuré de manière à mettre en œuvre un procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes.

- 45
5. Système d'émission et de réception selon la revendication 4, **caractérisé en ce qu'il** comporte des moyens de mémorisation desdits modèles de configuration géométrique.

6. Système d'émission et de réception selon l'une quelconque des revendications 4 à 5, **caractérisé en ce qu'il** comporte des moyens de calcul desdites phases à appliquer.

- 50
7. Système d'émission et de réception selon l'une quelconque des revendications 4 à 6, **caractérisé en ce qu'il** est apte à équiper un radar.

55 Patentansprüche

1. Verfahren zur Ausrichtung des Strahls einer Antenne mit elektronischer Abtastung, wobei die Antenne (10, 20) aus einem Netzwerk von Strahlenelementen zusammengesetzt ist, angeordnet nach einer geometrischen Anfangskon-

figuration bei einer Referenztemperatur (T_0), wobei das Verfahren Folgendes umfasst:

- einen vorbereitenden Schritt (30) der Herstellung von geometrischen Konfigurationsmodellen des Netzwerks in Abhängigkeit von der Temperatur,
- einen Schritt der Ausrichtung des Strahls, bewerkstelligt durch:
 - eine erste Phase (31) der Messung der Temperatur des Netzwerks zur Auswahl eines der gemessenen Temperatur entsprechenden Modells;
 - eine zweite Phase (32) der Berechnung der Phasen, die von der gezielten Richtung (θ, φ) abhängig ist, welche auf die Signale der Strahlelemente ($2, 2'$) für das ausgewählte Modell anzuwenden sind,

wobei das Verfahren **dadurch gekennzeichnet ist, dass** die geometrischen Konfigurationsmodelle die geometrische Position der Strahlelemente ($2, 2'$) in Bezug auf ein Achsensystem angeben und in Bezug auf die Anfangskonfiguration in Abhängigkeit von der Temperatur und einem Wärmedehnungskoeffizient CTE, der spezifisch zu den Strahlelementen des Netzwerks ist, berechnet werden, wobei, da das Netzwerk eben ist, die Position der Strahlelemente ($2, 2'$) durch deren Koordinaten (x_i, y_j) in einem Achsensystem X, Y definiert ist, wobei die Phasen von den Koordinaten abhängig sind.

2. Verfahren zur Ausrichtung des Strahls einer Antenne mit elektronischer Abtastung, wobei die Antenne (10, 20) aus einem Netzwerk von Strahlelementen zusammengesetzt ist, angeordnet nach einer geometrischen Anfangskonfiguration bei einer Referenztemperatur (T_0), wobei das Verfahren Folgendes umfasst:

- einen vorbereitenden Schritt (30) der Herstellung von geometrischen Konfigurationsmodellen des Netzwerks in Abhängigkeit von der Temperatur,
- einen Schritt der Ausrichtung des Strahls, bewerkstelligt durch:
 - eine erste Phase (31) der Messung der Temperatur des Netzwerks zur Auswahl eines der gemessenen Temperatur entsprechenden Modells;
 - eine zweite Phase (32) der Berechnung der Phasen, die von der gezielten Richtung (θ, φ) abhängig ist, welche auf die Signale der Strahlelemente ($2, 2'$) für das ausgewählte Modell anzuwenden sind.

wobei das Verfahren **dadurch gekennzeichnet ist, dass** die geometrischen Konfigurationsmodelle die geometrische Position der Strahlelemente ($2, 2'$) in Bezug auf ein Achsensystem angeben und in Bezug auf die Anfangskonfiguration in Abhängigkeit von der Temperatur und von einem Wärmedehnungskoeffizient CTE, der spezifisch zu der Strahlelemente des Netzwerks ist, berechnet werden, wobei, da das Netzwerk linear ist, die Position der Strahlelemente (2) durch deren Abszissen (x_i) entlang einer Achse X definiert ist, wobei die Phasen von den Abszissen abhängig sind.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass**, da die Antenne (10, 20) in einem gegebenen Temperaturbereich arbeitet, die Modelle für die zwischen dem Mindestwert und dem Höchstwert des Bereichs gemäß einer gegebenen Teilung abgetasteten Temperaturen berechnet werden.

4. System zum Senden und zum Empfangen von elektromagnetischen Wellen, umfassend eine Antenne mit elektronischer Abtastung, wobei die Antenne (10, 20) aus einem ebenen oder linearen Netzwerk von Strahlelementen zusammengesetzt ist, angeordnet nach einer geometrischen Anfangskonfiguration bei einer Referenztemperatur (T_0), wobei das System konfiguriert ist, um ein Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche durchzuführen.

5. System zum Senden und zum Empfangen nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** es Mittel zum Speichern der geometrischen Konfigurationsmodelle umfasst.

6. System zum Senden und zum Empfangen nach einem der Ansprüche 4 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** es Mittel zum Berechnen der anzuwendenden Phasen umfasst.

7. System zum Senden und zum Empfangen nach einem der Ansprüche 4 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** es geeignet ist, einen Radar auszurüsten.

Claims

1. A method for orienting the beam of an electronic scanning antenna, said antenna (10, 20) being composed of an

array of radiating elements positioned in an initial geometric configuration at a reference temperature (T_0), said method comprising:

- a preliminary step (30) of setting up geometric configuration models of said array as a function of the temperature;
- a step of orienting said beam which is carried out by:
 - a first phase (31) of measuring the temperature of said array in order to select a model corresponding to the measured temperature;
 - a second phase (32) of calculating the phases, depending on the aimed direction (θ, φ), to be applied to the signals of the radiating elements (2, 2') for the selected model;

said method being **characterized in that** the geometric configuration models indicate the geometric position of said radiating elements (2, 2') with respect to an axis system and are calculated with respect to said initial configuration as a function of the temperature and of a thermal expansion coefficient CTE specific to the radiating elements of said array, said array being planar, the position of the radiating elements (2, 2') is defined by their coordinates (xi, yj) in a system of axes X, Y, said phases depending on said coordinates.

2. A method for orienting the beam of an electronically scanning antenna, said antenna (10, 20) being composed of an array of radiating elements arranged in an initial geometric configuration at a reference temperature (T_0), said process comprising:

- a preliminary step (30) of setting up geometric configuration models of said array as a function of the temperature,
- a step of orientating said beam carried out by:
 - a first phase (31) of measuring the temperature of said array in order to select a model corresponding to the measured temperature;
 - a second phase (32) of calculating the phases, depending on the aimed direction (θ, φ), to be applied to the signals of the radiating elements (2, 2') for the selected model.

said method being **characterized in that** the geometric configuration models indicate the geometric position of said radiating elements (2, 2') with respect to an axis system and are calculated with respect to said initial configuration as a function of the temperature and of a thermal expansion coefficient CTE specific to the radiating elements of said array, said array being linear, the position of the radiating elements (2) is defined by their abscissae (xi) along an axis X, said phases depending on said abscissae.

3. The method according to any one of the preceding claims, **characterized in that** since said antenna (10, 20) operates in a given temperature range, the models are calculated for the temperatures sampled between the minimum value and the maximum value of the range according to a given increment.
4. The system for sending and receiving electromagnetic waves, comprising an electronic scanning antenna, said antenna (10, 20) being composed of a planar or linear array of radiating elements arranged in an initial geometric configuration at a reference temperature (T_0), said system being configured so as to implement a method according to any one of the preceding claims.
5. The sending and receiving system according to claim 4, **characterized in that** it comprises means for storing said geometric configuration models.
6. The sending and receiving system according to any one of claims 4 to 5, **characterized in that** it comprises means for calculating said phases to be applied.
7. The sending and receiving system according to any one of claims 4 to 6, **characterized in that** it is capable of equipping a radar.

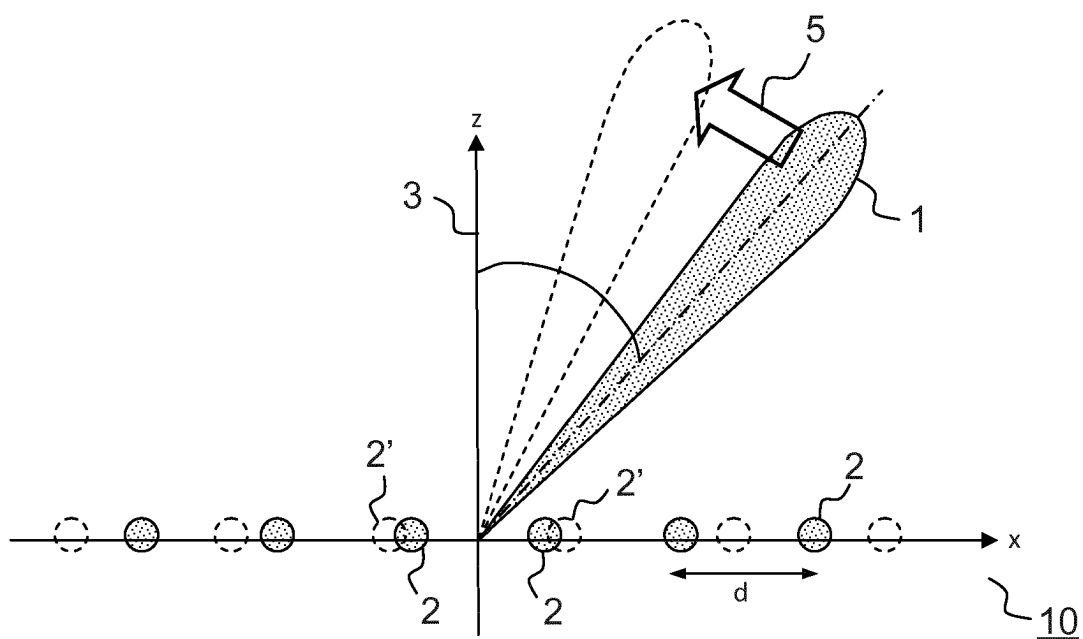


FIG.1

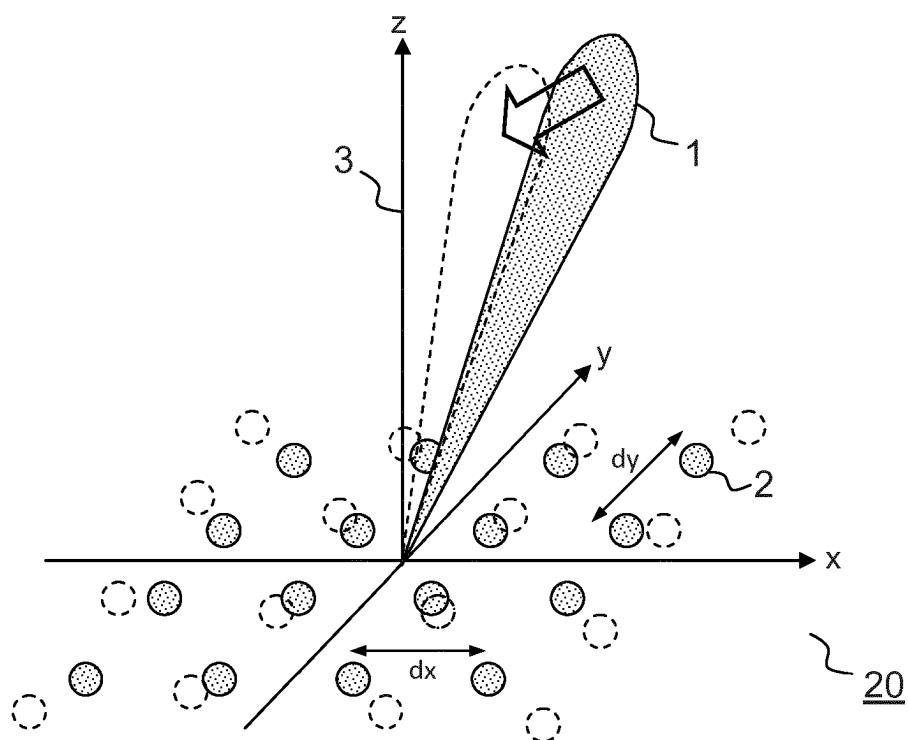


FIG.2

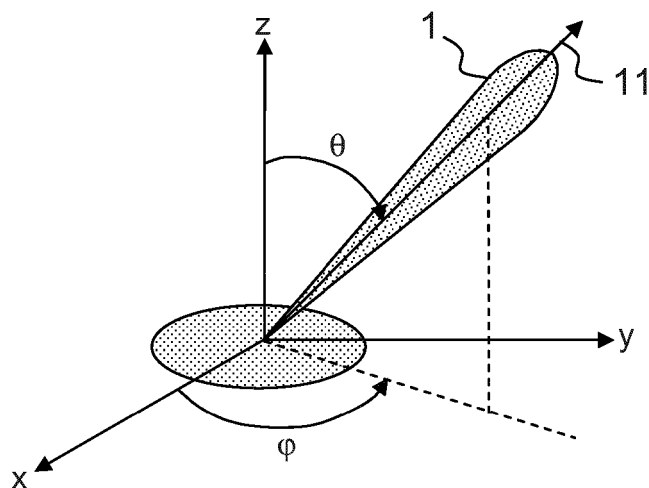


FIG.3

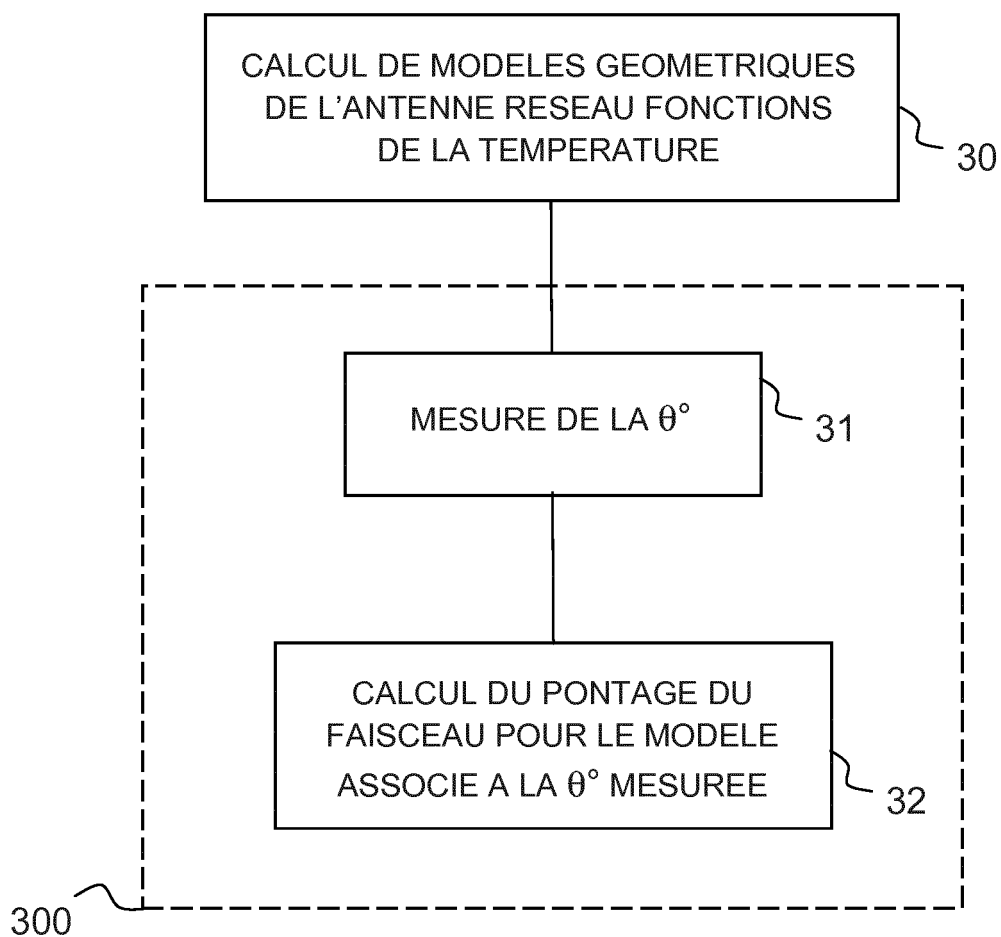


FIG.4

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- US 6320538 B1 [0006]
- US 20100033375 A1 [0007]