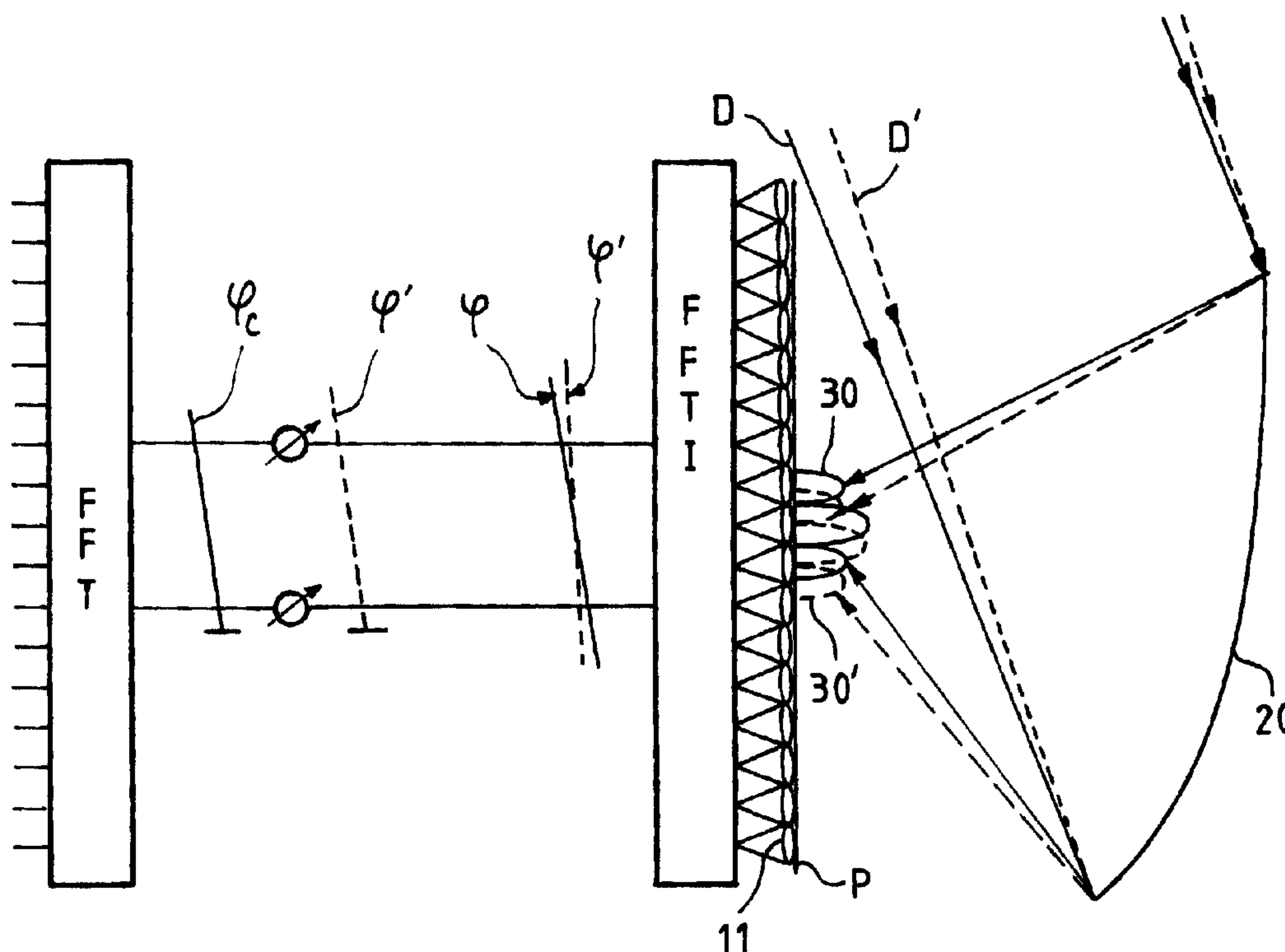




(22) Date de dépôt/Filing Date: 2002/06/20
(41) Mise à la disp. pub./Open to Public Insp.: 2002/12/21
(30) Priorité/Priority: 2001/06/21 (01 08 181) FR

(51) Cl.Int.⁷/Int.Cl.⁷ H01Q 3/02, H01Q 23/00
(71) Demandeur/Applicant:
ALCATEL, FR
(72) Inventeurs/Inventors:
GUIRAUD, CECILE, FR;
LEGAY, HERVE, FR;
BOUCHERET, MARIE-LAURE, FR
(74) Agent: ROBIC

(54) Titre : PROCÉDE DE REPOINTAGE POUR ANTENNE RESEAU A REFLECTEUR
(54) Title: REPOINTING PROCESS FOR REFLECTIVE ARRAY ANTENNA



(57) Abrégé/Abstract:

La présente invention concerne un procédé de repointage pour antenne réseau à réflecteur, ladite antenne comprenant une pluralité d'éléments rayonnants et étant du type à formation de-faisceaux par le calcul, de sorte que chaque signal reçu par ladite antenne est échantillonné. Ce procédé comprend les opérations suivantes: · on estime le dépointage du diagramme de rayonnement de l'antenne pour obtenir une matrice dite de déphasage, · on calcule la transformée de Fourier inverse discrète des échantillons de signal fournis par les éléments rayonnants, · on effectue un produit entre la matrice de déphasage et la transformée de Fourier inverse du signal échantillonné, · on calcule la transformée de Fourier directe discrète du produit.

ABREGE

La présente invention concerne un procédé de repointage pour antenne réseau à réflecteur, ladite antenne comprenant une pluralité d'éléments rayonnants et étant du type à formation de faisceaux par le calcul, de sorte que chaque signal reçu par ladite antenne est échantillonné.

Ce procédé comprend les opérations suivantes :

- on estime le dépointage du diagramme de rayonnement de l'antenne pour obtenir une matrice dite de déphasage,
- on calcule la transformée de Fourier inverse discrète des échantillons de signal fournis par les éléments rayonnants,
- on effectue un produit entre la matrice de déphasage et la transformée de Fourier inverse du signal échantillonné,
- on calcule la transformée de Fourier directe discrète du produit.

PROCEDE DE REPOINTAGE POUR ANTENNE RESEAU A REFLECTEUR

La présente invention concerne un procédé de repointage pour antenne réseau à réflecteur, et plus particulièrement pour antenne réseau à réflecteur utilisée à bord d'un satellite géostationnaire.

5 De manière connue, les antennes réseaux permettent de former un ou plusieurs diagrammes de rayonnement en utilisant un ensemble de sources élémentaires dont les signaux sont combinés par un dispositif appelé réseau formateur de faisceaux, numérique ou analogique. Les antennes réseaux permettent ainsi de former simultanément plusieurs diagrammes,
10 c'est-à-dire de former une couverture multifaisceaux, par application de plusieurs lois d'alimentation différentes. Ces couvertures multifaisceaux sont fréquemment utilisées dans le domaine des télécommunications, notamment par les satellites géostationnaires.

Compte tenu de l'altitude très élevée des satellites géostationnaires,
15 la couverture multifaisceaux des antennes réseaux utilisées à bord de ces satellites est constituée de faisceaux très fins, ayant typiquement une largeur de l'ordre du degré. Pour des diagrammes aussi directifs, un faible dépointage peut induire de fortes variations dans la puissance rayonnée dans une direction donnée. Par conséquent, il est important que le pointage de
20 ces faisceaux soit très précis. On requiert à l'heure actuelle une précision de pointage de l'ordre de 0,03°.

Des erreurs de pointage apparaissant au cours de l'utilisation des satellites. On appelle de manière générale erreur de pointage la différence angulaire sur chaque axe d'un référentiel à trois dimensions entre la position
25 théorique de l'antenne (et/ou de son réflecteur) et sa position réelle.

Les erreurs de pointage sont notamment liées aux instabilités angulaires de la position du satellite d'une part, aux erreurs relatives de position de l'antenne par rapport au satellite d'autre part, et enfin aux déformations internes de l'antenne, telles que les déformations d'origine
30 thermique du réflecteur. Les deux premières sources d'erreur, qui entraînent

une erreur de pointage globale de tous les spots formés par l'antenne, sont prépondérantes.

Le satellite dispose de systèmes de contrôle d'attitude ; cependant, ces derniers n'assurent qu'une précision de l'ordre du dixième de degré, c'est-à-dire insuffisante dans le cas des satellites géostationnaires à couverture assurée par des faisceaux fins multiples. L'antenne doit par conséquent disposer d'un système de repointage qui lui est propre.

Les antennes réseaux utilisées à bord des satellites peuvent être de deux types principaux, bien connus : les antennes à rayonnement direct et les antennes à réflecteur.

Pour les antennes à rayonnement direct, on dispose d'un modèle analytique simple du signal reçu par les éléments du réseau. La phase des signaux reçus par les éléments rayonnants est directement liée à la direction d'arrivée du signal incident. Le faisceau est repointé en additionnant en phase les signaux reçus par les différents éléments rayonnants et venant de la direction de pointage souhaitée. De la même manière, le repointage est donc effectué simplement en fonction de l'erreur de pointage mesurée ou estimée, en ajoutant la phase correspondant à l'erreur de pointage à la phase appliquée par la loi nominale.

En revanche, pour les antennes à réflecteur, le signal reçu ne peut pas être exprimé sous forme analytique simple, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de relation directe entre le pointage souhaité et les lois d'alimentation des éléments rayonnants.

La solution actuellement envisagée pour corriger l'erreur de pointage de ces antennes réseaux à réflecteur est une solution mécanique : deux à trois moteurs commandent la position du réflecteur, qui est modifiée de manière à corriger l'erreur de pointage, cette dernière mettant en jeu, comme on l'a vu, deux à trois axes de rotation possibles.

Cette solution implique l'implantation de moteurs de très haute précision. Elle est donc encombrante et coûteuse.

D'autre part, la modification de la position du réflecteur par rapport au réseau entraîne un changement de configuration de l'antenne qui peut avoir pour effet une dégradation des performances (due notamment à une moins bonne focalisation).

5 En outre, cette solution n'est pas suffisamment précise dans le cas de réflecteurs de grande taille.

Enfin, cette solution nécessite l'utilisation d'antennes et récepteurs additionnels spécifiques dédiés à l'estimation de l'erreur de pointage.

Le but de la présente invention est donc de mettre au point un
10 procédé de repointage pour antenne réseau à réflecteur qui permette de s'affranchir de l'utilisation de moteurs complexes, coûteux et encombrants tout en assurant une précision suffisante, requise notamment dans le cas des satellites géostationnaires.

La présente invention propose à cet effet un procédé de repointage
15 pour antenne réseau à réflecteur, ladite antenne comprenant une pluralité d'éléments rayonnants et étant du type à formation de faisceaux par le calcul, de sorte que chaque signal reçu par ladite antenne est échantillonné ledit procédé étant **caractérisé en ce qu'il** comprend les opérations suivantes :

- 20 • on estime le dépointage du diagramme de rayonnement de ladite antenne pour obtenir une matrice dite de déphasage,
• on calcule la transformée de Fourier inverse discrète des échantillons de signal fournis par les éléments rayonnants,
• on effectue un produit entre ladite matrice de déphasage et ladite
25 transformée de Fourier inverse dudit signal échantillonné,
• on calcule la transformée de Fourier directe discrète dudit produit.

La présente invention propose également un procédé de repointage pour antenne réseau à réflecteur, ladite antenne comprenant une pluralité d'éléments rayonnants et étant du type à formation de faisceaux par le

calcul, de sorte que chaque signal prêt à émettre par ladite antenne est également échantillonné

ledit procédé étant **caractérisé en ce qu'il** comprend les opérations suivantes :

- 5 • on estime le dépointage du diagramme de rayonnement de ladite antenne pour obtenir une matrice dite de déphasage,
- on calcule la transformée de Fourier directe discrète des échantillons de signal devant être transmis par les éléments rayonnants à un instant donné,
- 10 • on effectue un produit entre ladite matrice de déphasage et ladite transformée de Fourier directe dudit signal échantillonné,
- on calcule la transformée de Fourier inverse discrète dudit produit.

Grâce à l'invention, on effectue donc une correction numérique du signal émis ou reçu par l'antenne, au lieu d'appliquer une correction
15 mécanique.

L'idée de base de l'invention repose d'une part sur le fait que le dépointage du diagramme de rayonnement de l'antenne correspond à un décalage spatial (c'est-à-dire à un déphasage) des signaux reçus (ou émis) par les éléments rayonnants au foyer du réflecteur, et d'autre part sur le fait
20 que, grâce aux propriétés de la transformée de Fourier, le décalage de la tache focale dans le plan focal du réflecteur est converti en simple multiplication par une phase. Ces opérations permettent ainsi de corriger par le calcul les signaux reçus ou émis par l'antenne dépointée, en simulant les signaux de l'antenne correctement pointée.

25 Le fait d'effectuer une transformée de Fourier directe ou inverse après le produit par la matrice de déphasage permet de retrouver des signaux équivalents à ceux réellement reçus ou émis par les éléments rayonnants de l'antenne.

En outre, le procédé de l'invention permet d'effectuer une repointage
30 simultané de tous les faisceaux d'une antenne réseau à réflecteur.

De manière avantageuse, l'échantillonnage peut être effectué après descente en fréquence du signal radiofréquence en bande intermédiaire ou bande de base.

Avantageusement, l'estimation du dépointage est effectuée par une
5 boucle numérique du premier ordre à partir de la position connue d'au moins une balise fixe.

D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront dans la description qui va suivre d'un mode de réalisation de l'invention, donné à titre illustratif et nullement limitatif.

10 Dans les figures suivantes :

- la figure 1 illustre de manière schématique le fonctionnement général d'une antenne à formation de faisceau par le calcul, à la réception,
- la figure 2 donne la définition du dépointage ou erreur de pointage,
- la figure 3 illustre schématiquement le principe du repointage selon
15 l'invention
- la figure 4 illustre schématiquement et de manière fonctionnelle le principe du repointage selon l'invention de la figure 3,
- la figure 5 illustre également schématiquement la boucle numérique d'estimation de l'erreur de pointage selon l'invention.

20 Dans toutes ces figures, les éléments communs portent les mêmes numéros de référence.

De manière générale, les réseaux de formation de faisceaux sont des dispositifs possédant autant d'entrées qu'il y a d'éléments rayonnants, et autant de sorties qu'il y a de faisceaux à former. Deux types de formations
25 de faisceaux existent : la formation de faisceaux analogique, utilisant un support radiofréquence, et la formation de faisceaux numérique (dite aussi formation de faisceaux par le calcul), dans laquelle le signal reçu par les éléments rayonnants est mis en forme puis échantillonné, et alors traité par des processeurs numériques afin d'en extraire les informations utiles.

Dans tout ce qui suit, on se réfère pour les besoins de la description à une antenne utilisée en réception, mais tout ce qui va être expliqué est également applicable, mutatis mutandis, aux antennes utilisées en émission, qui diffèrent des antennes utilisées en réception principalement dans leur
5 réalisation pratique.

Comme illustré en figure 1, une antenne à formation de faisceaux par le calcul 1 comporte les éléments suivants :

- un réseau 10 d'éléments rayonnants 11
- en aval de chaque élément rayonnant 11 (ou éventuellement de chaque groupe d'éléments rayonnants), une chaîne de réception 12 amplifie le
10 signal radiofréquence reçu par l'antenne et le transpose soit en bande de base, soit à fréquence intermédiaire afin qu'il soit échantillonné
- un ou plusieurs convertisseurs analogique-numérique (CAN) 13 destinés à échantillonner les signaux issus des chaînes de réception 12
- 15 • un bloc de pondération 14 par des poids complexes des signaux échantillonnés
- un sommateur 15 pour sommer les signaux échantillonnés et pondérés.

La pondération et la sommation complexes assurent la formation de faisceaux par le calcul.

20 A noter que, dans la figure 1, on donne l'exemple d'un échantillonnage complexe sur deux voies en quadrature de phase. Sous certaines conditions, et sans aucune changement de principe de l'invention, l'échantillonnage complexe peut être réalisé sur une seule voie, avec une fréquence d'échantillonnage différente.

25 En pratique, dans un charge utile de satellite de télécommunications, la formation de faisceaux par le calcul est intégrée à un processeur numérique (non représenté) qui assure également d'autres fonctions de la charge utile telle que par exemple le démultiplexage du signal d'entrée. La formation de faisceaux proprement dite est commandée par un processeur

de contrôle (non représenté) qui actualise notamment les coefficients de pondération.

La chaîne de réception 12 est constituée d'une partie analogique, destinée à amplifier le signal et à transposer la fréquence radio à une
5 fréquence compatible de l'échantillonnage, et d'un bloc assurant l'échantillonnage lui-même.

L'échantillonnage numérique des signaux de chacun des éléments rayonnants 11 (ou groupes d'éléments rayonnants) permet de garder ces signaux disponibles pour des traitements à effectuer (contrairement au
10 formateur de faisceau analogique pour lequel seule est disponible la sortie). De plus, une fois échantillonnés, et sous réserve d'un dimensionnement correct du calculateur à chacune des étapes du calcul, les signaux ne subissent que des dégradations négligeables devant les dégradations amenées par la partie analogique de la chaîne. En outre, l'échantillonnage
15 numérique permet d'utiliser les signaux échantillonnés autant de fois que nécessaire par simple duplication du signal, par exemple dans des traitements annexes à la formation de faisceaux, tels que le traitement du procédé de la présente invention qui sera décrit en détail plus loin.

La formation de faisceaux par le calcul présente donc de nombreux
20 avantages pour des charges utiles de satellites de télécommunications, notamment dans le cas d'antennes de télécommunications à couverture multifaisceaux telles que celles utilisées dans les satellites géostationnaires. En effet, dans un réseau à formation de faisceaux par le calcul, le signal est copié sans perte pour être utilisé dans la formation de plusieurs faisceaux, au
25 lieu d'être divisé, comme c'est le cas dans les dispositifs analogiques. La formation de faisceaux par le calcul a d'ailleurs déjà été utilisée avec une antenne réseau à réflecteur au sein du satellite Thuraya.

On va maintenant décrire, en relation avec les figures 2 à 4, le fonctionnement du procédé selon l'invention dans le cas d'une antenne

réseau à réflecteur d'un satellite géostationnaire à couverture multifaisceaux, utilisant la formation de faisceaux par le calcul à la réception.

On rappelle que, pour une antenne à réflecteur, le signal reçu par l'antenne ne peut pas être exprimé sous forme analytique simple. La mise au point du procédé selon l'invention nécessite donc d'abord de modéliser le signal reçu pour trouver la relation qui le lie au signal « idéal » en fonction de l'erreur de pointage de l'antenne.

En cas de dépointage de l'antenne, l'axe de l'ensemble antenne et réflecteur ne pointe plus vers la direction, fixe, de pointage nominal, mais vers une direction décalée par rapport à cette dernière. C'est ce qui est illustré en figure 2, où le réflecteur de l'antenne est référencé 20 et où :

$(x_{res}, y_{res}, z_{res})$ est un repère qui définit le plan du réseau

$(x_{ant}, y_{ant}, z_{ant})$ est le repère de définition du pointage nominal de l'antenne, lié à la position nominale du réflecteur

$(x'_{ant}, y'_{ant}, z'_{ant})$ est le repère de définition du pointage effectif de l'antenne.

Le dépointage de l'antenne, qui fait passer de l'axe théorique de pointage z_{ant} à l'axe réel (décalé) de pointage z'_{ant} peut se décomposer sous la forme de deux rotations successives :

- une rotation d'angle ε_x autour d'un axe orthogonal à x_{res} et parallèle au plan (x_{res}, y_{res})
- une rotation d'angle ε_y autour d'un axe orthogonal à y_{res} et parallèle au plan (x_{res}, y_{res}) .

Dans le cadre de la présente invention, on a montré que le dépointage de l'antenne suivant ces deux axes correspond à une translation du champ rayonné dans le plan focal du réflecteur 20, c'est-à-dire à un décalage spatial des signaux reçus par les éléments rayonnants. Le dépointage de l'antenne est équivalent à un décalage de l'angle d'incidence apparent des ondes sur l'antenne. Pour une onde plane incidente depuis une

direction donnée, on voit ainsi en figure 3 la représentation de l'amplitude du champ rayonné nominal dans le plan focal P du réflecteur 20 représenté par la courbe 30 en trait plein, et l'amplitude du champ rayonné décalé dans le plan focal P représenté par la courbe 30' en trait interrompu. La direction nominale de l'onde incidente sur le réflecteur 20 est représentée en trait plein et référencée D en figure 3, et la direction décalée de l'onde incidente du fait de l'erreur de pointage de l'antenne est représentée en trait interrompu et référencée D' en figure 3.

On a également représenté en figure 3 en trait plein le plan de phase nominal φ équivalent après transformée de Fourier inverse, et en trait interrompu le plan de phase décalé φ' .

Etant donné que lorsque l'on fait une transformée de Fourier, un décalage spatial devient une multiplication par une phase pure, compenser par le calcul, selon l'invention, la translation du champ rayonné dans le plan focal due au dépointage de l'antenne revient à multiplier la transformée de Fourier inverse des signaux reçus par une phase pure, autrement dit à appliquer une multiplication par un plan de phase sur la transformée de Fourier inverse des signaux recueillis par les éléments rayonnants 11 de l'antenne. C'est ce qui est illustré aux figures 3 et 4.

Il est important de noter que dans le cadre de la présente invention, chaque fois qu'il est question de transformée de Fourier, celle-ci relie les angles du diagramme d'antenne aux coordonnées linéaires dans le plan focal, et non pas l'espace des temps à celui des fréquences. Les transformées de Fourier directe et inverse sont donc des transformées spatiales sur des échantillons reçus simultanément par les différents éléments rayonnants.

On suppose l'erreur de pointage connue (on verra en relation avec la figure 5 comment on peut l'estimer, selon l'invention). On voit en figure 4 le réflecteur 20 de l'antenne à repointer, les éléments rayonnants 11 du réseau de l'antenne envoyant les signaux recueillis (un fois échantillonnés selon le

principe expliqué en relation avec la figure 1) à un calculateur 40 effectuant la transformée de Fourier inverse discrète de ces signaux.

Ensuite, on effectue dans une autre fonction 41 du calculateur, le produit de cette transformée de Fourier inverse des signaux reçus avec le plan de phase. Ceci est effectué mathématiquement par le produit matriciel
5 entre le vecteur donnant les composantes de la transformée de Fourier inverse des signaux recueillis par les éléments rayonnants et la matrice correspondant au déphasage.

Après le produit effectué par le calculateur 41, le plan de phase
10 décalé est corrigé pour obtenir un plan de phase corrigé φ_c (voir figure 3), identique au plan de phase nominal φ .

Cette matrice de déphasage peut se décomposer en produit de deux matrices, correspondant aux pentes de phase à appliquer pour compenser respectivement les dépointages. Ainsi, p_x est la composante de cette matrice
15 de déphasage qui est fonction de ε_x , et p_y celle qui est fonction de ε_y . Chacune de ces deux matrices ne dépend que de la position des éléments rayonnants, et de la pente à appliquer suivant x et y .

Enfin, le résultat obtenu en sortie du calculateur 41 passe dans un dernier calculateur 42 qui lui applique une transformée de Fourier afin de
20 retrouver des signaux équivalents à ceux réellement récupérés par les éléments rayonnants 11, mais repointés. Ces signaux repointés peuvent alors être traités au sein du processeur (non représenté) qui se trouve à bord du satellite pour y subir les traitements habituels qui ne seront pas expliqués plus en détail ici.

25 Il est important de noter ici que, selon l'invention, pour une antenne multifaisceaux de satellite géostationnaire, la même pente de phase permet de repointer simultanément tous les faisceaux formés par l'antenne, car on a montré que le déplacement de la tache focale dû au dépointage de l'antenne est indépendant au premier ordre de la direction d'arrivée de l'onde plane
30 incidente.

On vient d'expliquer le procédé de correction de pointage selon l'invention, en supposant connue l'erreur angulaire de pointage. On va à présente expliquer comment, selon l'invention, est effectuée la détection de l'erreur de pointage qui permet de calculer une estimée de la pente de la phase linéaire à appliquer pour effectuer le repointage.

Pour estimer la pente du déphasage linéaire à appliquer pour corriger l'erreur de pointage, on peut estimer directement à partir des senseurs embarqués à bord du satellite la direction d'arrivée apparente de l'onde provenant d'une balise terrestre fixe (de position connue), et en déduire le dépointage par comparaison avec la direction théorique d'arrivée de cette onde. Cependant, cette méthode peut s'avérer insuffisante pour détecter les erreurs de pointage de l'ordre de quelques centièmes de degré.

C'est pourquoi il est proposé, selon la présente invention, d'avoir recours à une estimation par verrouillage d'un système en boucle fermée sur une référence donnée par une balise terrestre de position connue.

Cette estimation repose sur le principe suivant. Lorsqu'une onde émise par une source ponctuelle est reçue simultanément par deux capteurs, l'amplitude et la phase du signal vues par chacun d'eux varient en fonction du milieu de propagation, mais pas les valeurs relatives de l'amplitude et de la phase des deux signaux, qui sont fonction uniquement de la direction d'arrivée de l'onde.

Dans le cas présent, on va plus particulièrement utiliser le rapport des signaux différence et somme issus de deux capteurs (par exemple de sources adjacentes de l'antenne) pour estimer la pente de phase à appliquer. Ceci suppose qu'il existe une relation linéaire, valable localement pour de petits dépointages, qui lie la pente de la phase à appliquer à $\frac{\Delta}{\Sigma}$, rapport de la différence sur la somme des amplitudes des signaux issus de deux sources adjacentes.

La boucle numérique de calcul des pentes du plan de phase linéaire à appliquer pour repointer le diagramme est illustrée schématiquement en figure 4.

Dans cette figure, l'indice 1 représente x ou y et :

- 5 • k_0 est la valeur de $\frac{\Delta}{\Sigma}$ nominale, sans dépointage (pointage nominal)
- G_1 est la fonction de transfert qui lie $p_1 - \hat{p}_1$ (estimée de p_1) à $\frac{\Delta}{\Sigma} - k_0$, c'est-à-dire le gain du détecteur
- F_1 est le coefficient de retour de la boucle du premier ordre ; il doit être choisi de manière à respecter les conditions de stabilité de la boucle
- 10 • $\frac{1}{z-1}$ est l'intégrateur de la boucle numérique, exprimé avec la variable z classique.

La boucle est verrouillée sur k_0 , de manière à estimer p_1 , à une précision fixée par l'utilisateur, et qui doit être choisie en fonction du plancher de bruit, et de la précision que l'on peut obtenir sur k_0 .

- 15 Ainsi, on utilise une boucle d'asservissement en réception qui permet d'estimer l'erreur de pointage nécessaire ensuite au procédé de repointage selon l'invention. Cette boucle d'asservissement utilise des balises fixes comme référence, c'est pourquoi elle fonctionne au départ uniquement en réception. En revanche, une fois l'estimation faite selon cette boucle
- 20 d'asservissement, on peut ensuite appliquer le principe de l'invention aux signaux émis par l'antenne.

L'invention permet donc d'effectuer un repointage de tous les faisceaux d'une antenne réseau à réflecteur de type multifaisceaux en même temps.

- 25 En outre, elle utilise une méthode numérique qui n'est donc pas limitée en terme de puissance de calcul et permet donc d'assurer un pointage précis.

Elle ne requiert en outre pas d'antennes et récepteurs spécifiques dédiés à l'estimation de l'erreur de pointage.

Enfin, elle ne nécessite que l'utilisation d'un processeur déjà présent au sein d'un satellite, c'est-à-dire qu'elle n'implique pas d'avoir recours à des
5 moteurs mécaniques encombrants et coûteux.

Une fois la correction calculée selon le procédé de l'invention (comme revendiquée dans les revendications 1 à 6), elle pourra être avantageusement appliquée en réactualisant uniquement les lois d'alimentation. Ces dernières seront corrigées simultanément pour tous les
10 faisceaux en appliquant une FFT inverse, puis la loi de phase opposée à celle estimée par le procédé de l'invention, et en calculant la FFT. L'intérêt de ce mode d'application consiste en ce qu'il permet de ne recalculer uniquement les lois, à un rythme lié au dépointage de l'antenne. Ce rythme sera de l'ordre de 1Hz. Dans le cas où l'on calcule FFTI, déphasage et FFT des
15 signaux, ces calculs devront être effectués à un rythme égal à la fréquence d'échantillonnage des signaux, soit plusieurs dizaines voire plusieurs centaines de MHz.

Bien entendu, l'invention n'est pas limitée au mode de réalisation qui vient d'être décrit.

20 En particulier, comme on l'a déjà indiqué, le procédé selon l'invention peut s'appliquer à la fois en réception et en émission.

Par ailleurs, la méthode proposée d'estimation de l'erreur de pointage, bien que particulièrement intéressante, peut être remplacée par toute autre méthode d'estimation connue de l'homme du métier et qui ne
25 sera pas décrite plus en détail ici.

Enfin, on pourra remplacer tout moyen par un moyen équivalent sans sortir du cadre de l'invention.

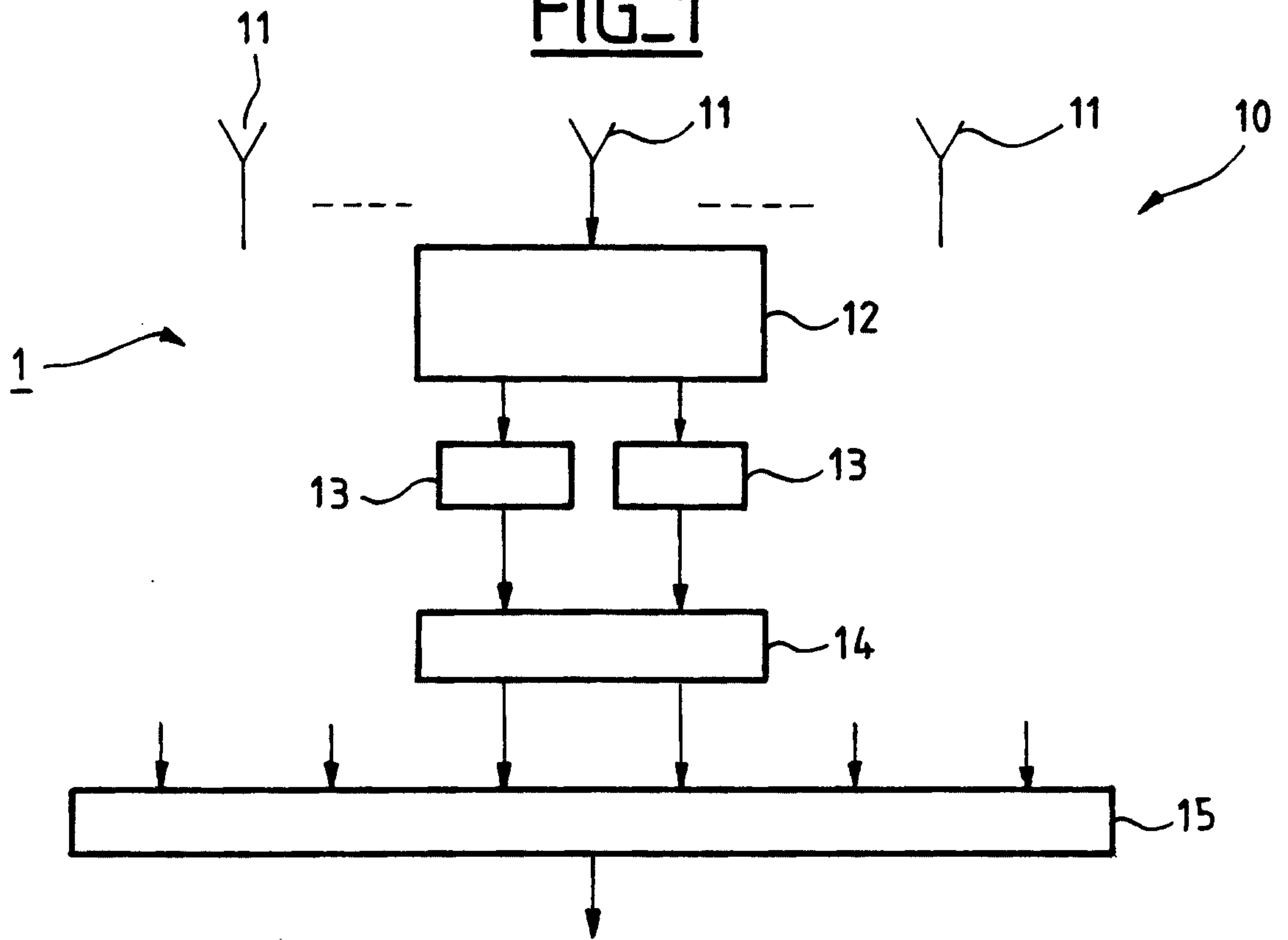
REVENDICATIONS

1. Procédé de repointage pour antenne réseau à réflecteur, ladite antenne comprenant une pluralité d'éléments rayonnants et étant du type à formation de faisceaux par le calcul, de sorte que chaque signal reçu par ladite antenne est échantillonné,
5 ledit procédé étant **caractérisé en ce qu'il** comprend les opérations suivantes :
- on estime le dépointage du diagramme de rayonnement de ladite antenne pour obtenir une matrice dite de déphasage,
 - 10 • on calcule la transformée de Fourier inverse discrète des échantillons de signal fournis par les éléments rayonnants,
 - on effectue un produit entre ladite matrice de déphasage et ladite transformée de Fourier inverse dudit signal échantillonné,
 - on calcule la transformée de Fourier directe discrète dudit produit.
- 15 2. Procédé de repointage pour antenne réseau à réflecteur, ladite antenne comprenant une pluralité d'éléments rayonnants et étant du type à formation de faisceaux par le calcul, de sorte que chaque signal prêt à émettre par ladite antenne est également échantillonné
ledit procédé étant caractérisé en ce qu'il comprend les opérations
20 suivantes :
- on estime le dépointage du diagramme de rayonnement de ladite antenne pour obtenir une matrice dite de déphasage,
 - on calcule la transformée de Fourier directe discrète des échantillons de signal devant être transmis par les éléments rayonnants à un
25 instant donné,
 - on effectue un produit entre ladite matrice de déphasage et ladite transformée de Fourier directe dudit signal échantillonné,
 - on calcule la transformée de Fourier inverse discrète dudit produit.
3. Procédé selon l'une des revendications 1 ou 2 caractérisé en ce que
30 lesdites transformées de Fourier relient les angles du diagramme de

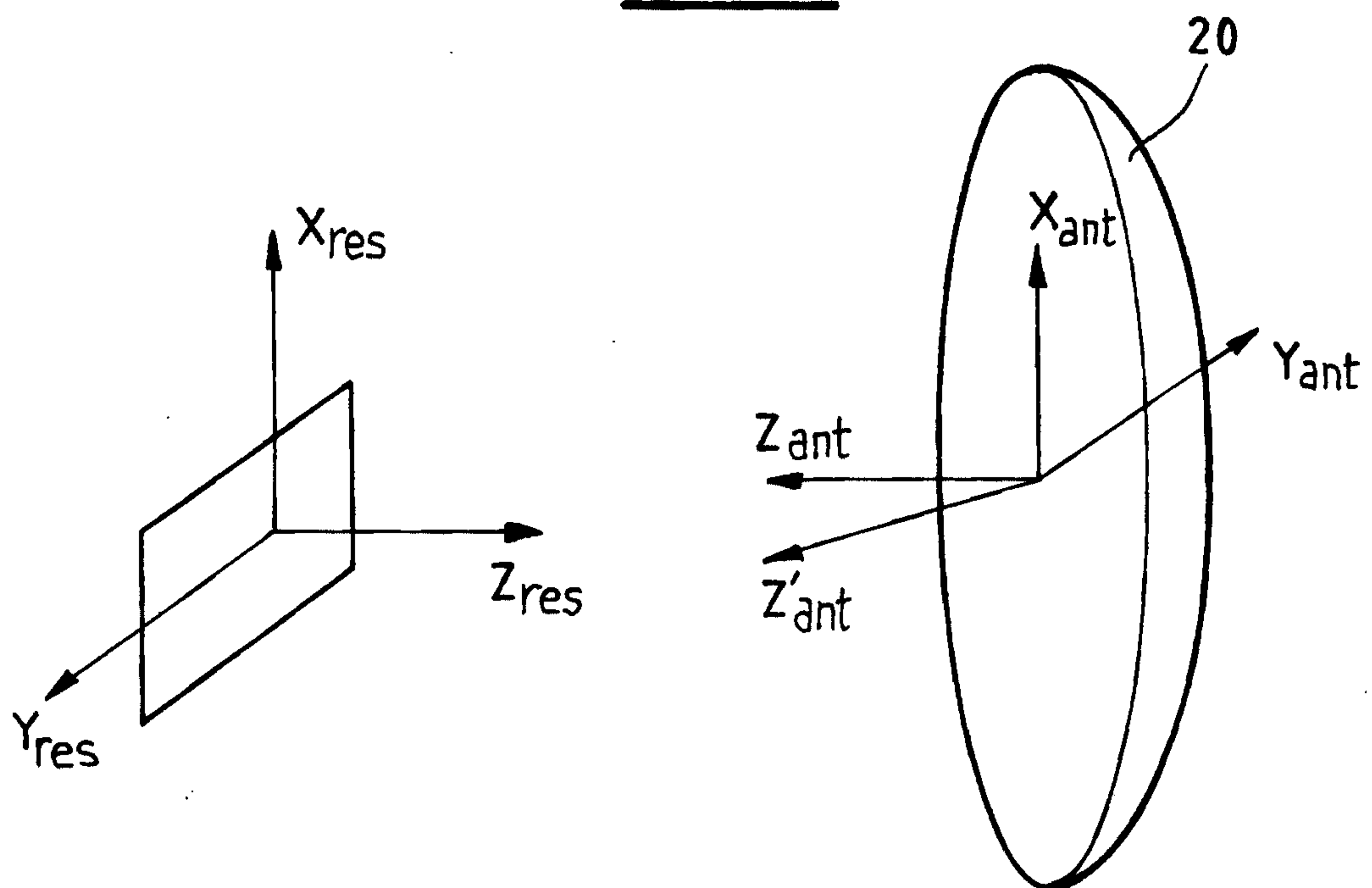
rayonnement de ladite antenne aux coordonnées linéaires dans le plan focal dudit réflecteur.

4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3 caractérisé en ce que l'échantillonnage est effectué après descente en fréquence du signal radiofréquence en bande intermédiaire ou bande de base.
5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4 caractérisé en ce que l'estimation du dépointage est effectuée par une boucle numérique fermée du premier ordre à partir de la position connue d'au moins une balise fixe pour obtenir ladite matrice de déphasage.
- 10 6. Procédé selon la revendication 5 caractérisé en ce que ladite boucle numérique fermée utilise le rapport de la différence sur la somme des amplitudes des signaux issus de deux éléments rayonnants adjacents de ladite antenne.

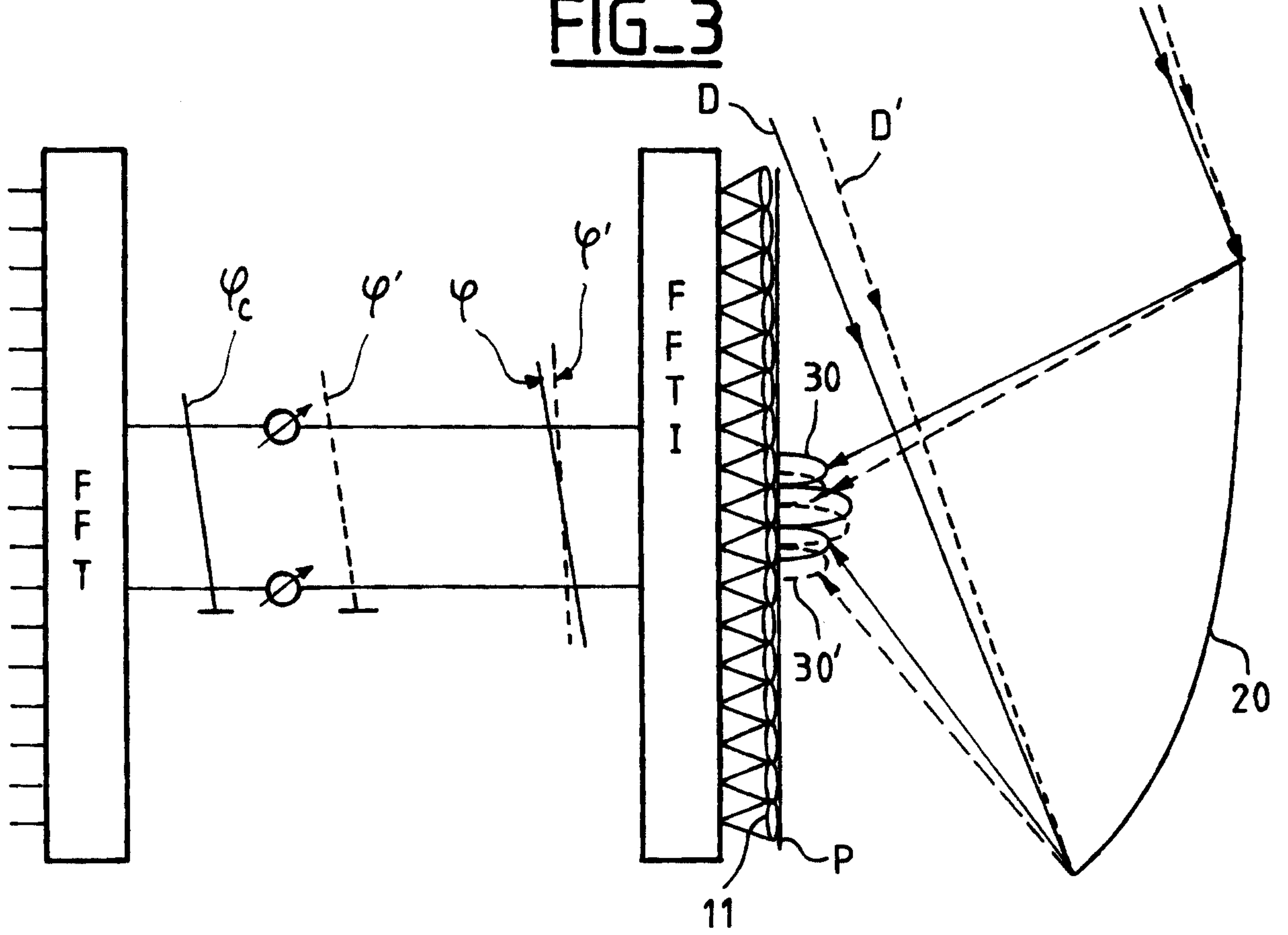
FIG_1



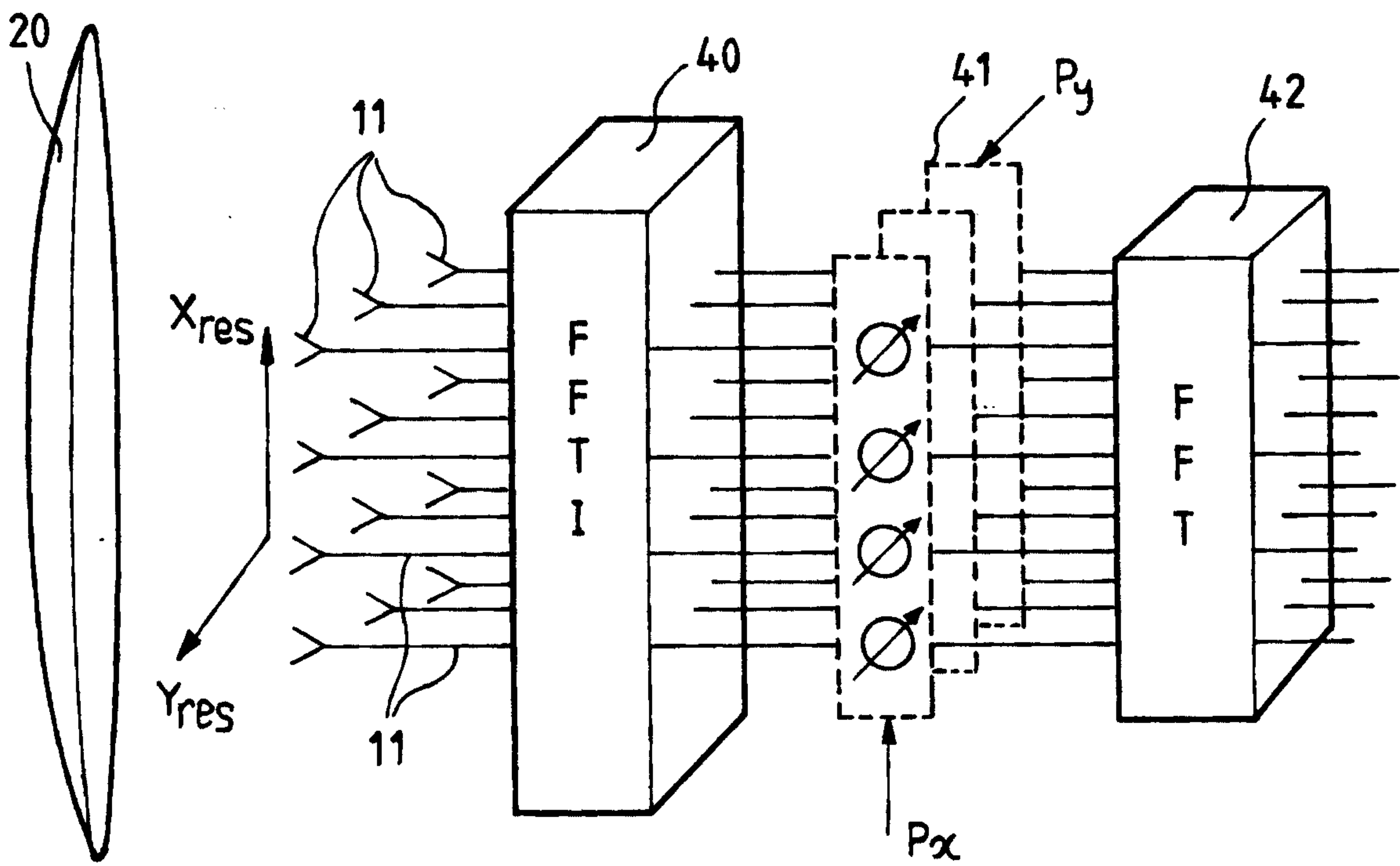
FIG_2



FIG_3



FIG_4



FIG_5

