



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
12.03.2003 Bulletin 2003/11

(51) Int Cl.7: **H01Q 1/28**, H01Q 3/26,
H01Q 21/06

(21) Numéro de dépôt: **02291819.7**

(22) Date de dépôt: **18.07.2002**

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

(30) Priorité: **06.09.2001 FR 0111532**

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

(72) Inventeurs:
• **Gayrard, Jean-Didier**
31100 Toulouse (FR)

• **Martin, Laurent**
31470 Fontenilles (FR)
• **Caille, Gérard**
31170 Tournefeuille (FR)

(74) Mandataire: **Smith, Bradford Lee et al**
Compagnie Financière Alcatel
Département de Propriété Industrielle,
5, rue Noel Pons
92734 Nanterre Cedex (FR)

(54) **Réseau formateur de faisceaux pour véhicule spatial**

(57) L'invention concerne un réseau (13) formateur de faisceaux d'une antenne active à sous-réseaux déployable.

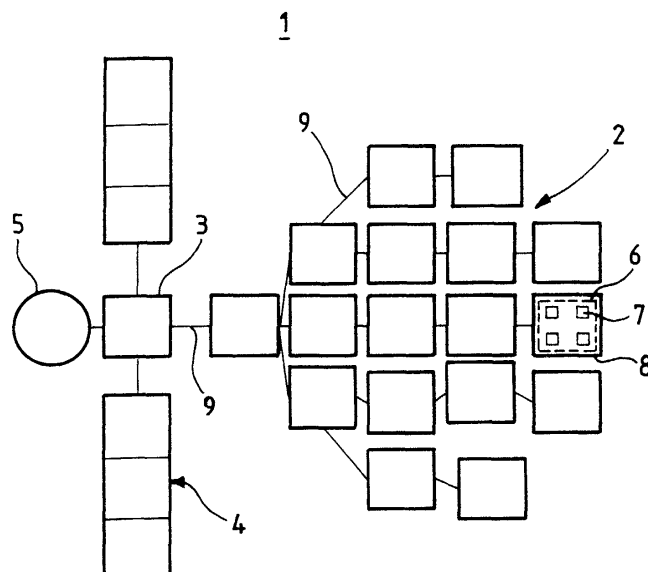
Selon l'invention, le réseau reçoit une information de déformation des positions relatives entre deux panneaux. La mise en cohérence des signaux reçus tient compte de cette information pour restituer les signaux

reçus.

L'invention concerne également un véhicule spatial comportant un tel réseau (13 et une méthode de formation de faisceaux.

L'invention concerne également un système comportant un tel véhicule et au moins une station émettrice d'une balise.

FIG_3



Description

[0001] L'invention est relative à une antenne embarquée dans un véhicule spatial, tel qu'un satellite géostationnaire, et destinée à recevoir et/ou émettre des signaux radiofréquences, tels que des radiocommunications ou des signaux radars.

[0002] Pour assurer des communications sur un territoire étendu, par exemple de la dimension de l'Amérique du Nord, on fait appel à un satellite géostationnaire comprenant une antenne d'émission et une antenne de réception dont chacune présente un réflecteur associé à une multiplicité d'éléments rayonnants ou sources. Afin de pouvoir réutiliser des ressources en communication, notamment des sous-bandes de fréquences, le territoire à couvrir est divisé en zones et ces ressources sont affectées aux diverses zones de façon telle que lorsqu'à une zone est affectée une ressource, aux zones adjacentes on affecte des ressources différentes.

[0003] Chaque zone, par exemple, d'un diamètre de l'ordre de plusieurs centaines de kilomètres, est d'une étendue telle qu'elle doit être couverte par plusieurs éléments rayonnants afin d'assurer un gain élevé et une homogénéité suffisante du rayonnement de l'antenne dans la zone.

[0004] Ainsi sur la figure 1, on a représenté un territoire 10' couvert par une antenne à bord d'un satellite géostationnaire et n zones 12'₁, 12'₂, ..., 12'_n. Dans cet exemple, on utilise 4 sous-bandes de fréquences f₁, f₂, f₃, f₄.

[0005] La zone 12'_i est divisée en plusieurs sous-zones 14'₁, 14'₂, etc. dont chacune correspond à un élément rayonnant de l'antenne. La figure 1 montre qu'à certains éléments rayonnants, par exemple celui de référence 14'₃ au centre de la zone 12'_i, ne correspond qu'une seule sous-bande de fréquences f₄, alors que d'autres, tels que ceux se trouvant à la périphérie de la zone 12'_i sont associés à plusieurs sous-bandes, celles qui sont affectées aux zones adjacentes.

[0006] La figure 2 représente une antenne de réception d'un type connu pour un tel système de télécommunication.

[0007] Cette antenne comporte un réflecteur 20' et une pluralité d'éléments rayonnants 22'₁, ..., 22'_N se trouvant à proximité du plan focal du réflecteur. Le signal reçu par chaque élément rayonnant, par exemple celui de l'élément 22'_N, traverse d'abord un filtre 24'_N destiné notamment à éliminer la fréquence d'émission (puissante) puis un amplificateur à faible bruit 26'_N. A la sortie de l'amplificateur à faible bruit 26'_N, le signal est, grâce à un diviseur 30'_N, divisé en plusieurs parties, éventuellement avec des coefficients qui peuvent différer d'une partie à une autre; le but de cette division est de permettre qu'un élément rayonnant puisse participer à la formation de plusieurs faisceaux. On voit ainsi qu'une sortie 32'₁ du diviseur 30'_N est affectée à une zone 34'_p, alors qu'une autre sortie 32'₂ du diviseur 30'_N est affectée à une autre zone 34'_q.

[0008] Les diviseurs 30'_i, ..., 30'_N ainsi que les sommateurs 34'_p, ..., 34'_q destinés à reconstituer les zones font partie d'un dispositif 40 appelé réseau formateur de faisceaux ou pinceaux ("Beam Forming Network" en anglais ou BFN de façon abrégée).

[0009] Dans le réseau formateur de faisceaux 40 représenté sur la figure 2, on prévoit pour chaque sortie de chaque diviseur 30'_i, un ensemble comportant un déphaseur 42 et un atténuateur 44. Les déphaseurs 42 et atténuateurs 44 permettent de modifier le diagramme de rayonnement soit pour le corriger, si le satellite a subi un déplacement indésiré, soit pour conférer une répartition différente aux zones terrestres.

[0010] Par ailleurs, à chaque amplificateur à faible bruit 26'_N est associé un autre amplificateur à faible bruit 26'_N, qui lui est identique et dont le but est de remplacer l'amplificateur 26'_N en cas de panne de ce dernier. A cet effet, on prévoit deux commutateurs 46'_N et 48'_N permettant le remplacement. Il est donc nécessaire de prévoir des moyens de télémessure (non montrés) pour détecter la panne et des moyens de télécommande (également non représentés) pour assurer le remplacement.

[0011] Il existe aujourd'hui des services dits "mobiles" par satellite (par exemple la téléphonie mobile par satellite). Pour que ces services puissent se développer sans souffrir de la concurrence de réseaux terrestres, il est nécessaire que les terminaux utilisés à ces fins occupent un même encombrement que ceux utilisés par les réseaux terrestres. Pour réduire la taille et la puissance des terminaux, le seul paramètre du bilan de liaison restant ouvert est, pour la voie montante, le facteur de mérite (G/T) du satellite, et, pour la voie descendante, l'augmentation de la puissance rayonnée intégrée équivalente ("Equivalent Integrated Radiation Power" en anglais ou PIRE) émise par l'antenne du satellite. Pour augmenter la PIRE du satellite, un compromis entre la taille de l'antenne et la puissance des amplificateurs du satellite est possible. Un tel compromis n'est par contre pas réalisable pour le facteur de mérite où la température de bruit est fixée par les contraintes naturelles. L'amélioration du facteur de mérite doit par conséquent se résoudre par l'augmentation de la taille de l'antenne.

[0012] Une antenne large, à savoir une antenne ayant une grande surface de captation ou de rayonnement des signaux électromagnétiques, bénéficie d'un gain important (proportionnel à la surface) et d'un pouvoir correspondant de séparation (proportionnel à la plus grande dimension). Or, la grande majorité des applications spatiales comme les radiocommunications, l'écoute, la télédétection électromagnétique demandent la mise en oeuvre à bord des véhicules spatiaux d'antennes à très grand gain et à fort pouvoir de séparation. C'est la raison pour laquelle il existe de nos jours, dans ces applications spatiales, des antennes à très grand réflecteur (de l'ordre de 12 à 15 mètres de diamètre).

[0013] Cependant, la réalisation d'antennes de diamètre supérieur à 15 mètres pose de nombreuses diffi-

cultés techniques et pratiques comme en particulier le stockage dans la coiffe du lanceur, le déploiement en orbite à partir du véhicule spatial, et, en plus, les diverses contraintes mécaniques et électriques inhérent aux grands objets en apesanteur et soumis au vide tels que la rigidité structurelle, la tenue mécanique, les vibrations mécaniques, la dilatation et la contraction.

[0014] Une solution à ces problèmes réside dans l'utilisation d'antennes dites "actives" à réseau d'éléments rayonnants déployables.

[0015] Une telle antenne est décrite dans le document US 5,430,451. Il y est décrit une antenne réseau pour engin spatial comprenant une pluralité de sous-réseaux reliés par un mécanisme de joints les uns des autres. De cette sorte, l'antenne peut occuper une première position empilée lors du lancement de l'engin (dite également configuration gerbée) et une seconde position dépliée et plate lorsque l'engin est lancé (dite configuration dégerbée).

[0016] Cependant, la mise en cohérence des signaux issus de ces sous-réseaux ne tient pas compte des déformations mécaniques que peuvent subir les différents panneaux supportant les sous-réseaux les uns par rapport aux autres.

[0017] La présente invention a pour but de résoudre les inconvénients cités ci-dessus. Elle a notamment pour but de permettre la mise en oeuvre simple d'une antenne active à réseaux large comprenant une pluralité de sous-réseaux d'éléments rayonnants déployables.

[0018] A cet effet, l'invention a pour objet un réseau formateur de faisceaux apte à collaborer avec une antenne active à réseaux d'un véhicule spatial comprenant :

- une pluralité de sous-réseaux d'éléments rayonnants,
- une pluralité de panneaux de support pour supporter respectivement ladite pluralité de sous-réseaux, les panneaux pouvant se mouvoir d'une première position pliée dans laquelle les panneaux se recouvrent au moins partiellement, à une seconde position déployée dans laquelle les panneaux sont sensiblement coplanaires,
- ledit réseau formateur de faisceau comprenant des moyens de mise en cohérence des signaux respectivement reçus par la pluralité de sous-réseaux par sommation pondérée de ces signaux en fonction de l'angle d'incidence attendu des signaux respectivement sur les sous-réseaux et des déphasages relatifs attendus dus aux retards de propagation des signaux entre sous-réseaux,

caractérisé en ce que

ledit réseau formateur de faisceau comprend en outre des moyens d'estimation d'une information représentative d'une déformation des positions relatives entre panneaux par rapport à une configuration prédéterminée at-

tendue,

et en ce que ladite sommation desdits signaux se réalise également en fonction de ladite information représentative de déformation.

[0019] La mise en cohérence est la sommation pondérée des signaux reçus par les sous-réseaux. La pondération appliquée à chaque signal est calculée en fonction de l'angle d'incidence recherché du signal sur le sous-réseau, de l'angle d'incidence réel (ou observé) du signal sur le sous-réseau et des déphasages dus aux retards relatifs de propagation des signaux du fait des positions relatives et distances entre les sous-réseaux.

[0020] Ainsi, la sommation est réalisée de façon cohérente pour les signaux utiles grâce à l'utilisation de l'information sur la géométrie relative des panneaux.

[0021] La pluralité de sous-réseaux d'éléments rayonnants et les panneaux de support associés présente l'avantage d'utiliser une structure empilable pouvant se loger dans un volume compatible à celui d'une coiffe d'un lanceur de véhicule spatial.

[0022] Le déploiement de cette structure empilée ne nécessite pas de mécanisme d'ouverture /fermeture complexe. Par exemple, les opérations d'ouverture /fermeture peuvent être réalisées à la manière de celles classiquement opérées pour les panneaux solaires. Les panneaux de support ne nécessitent pas de rigidité mécanique les liant avec le véhicule spatial. En outre, l'absence de système de verrouillage et la liberté de mouvement (oscillations possibles) entre les panneaux adjacents permettent de réduire les contraintes mécaniques sur le véhicule spatial.

Selon mode de réalisation, le réseau formateur de faisceaux selon l'invention comprend des moyens numériques de traitement de signaux.

[0023] Selon un mode de réalisation, les moyens numériques de traitement de signaux comprennent des moyens de calcul logiciel.

[0024] Selon un mode de réalisation, lesdits éléments rayonnants étant destinés à être employés pour la réception et l'émission de signaux de façon alternative ou simultanée, chaque élément rayonnant des panneaux est relié à des moyens respectifs de déphasage aptes à modifier la phase de l'onde à émettre, et en ce que le réseau formateur de faisceaux comporte des moyens pour commander respectivement lesdits moyens de déphasage de manière à ce que la modification respective de la phase des éléments rayonnants des panneaux de positions déformées compense cette déformation.

[0025] L'invention a également pour objet un système de réception de signaux radiofréquence comprenant une antenne radiofréquence pour véhicule spatial et un réseau formateur de faisceaux, l'antenne comprenant :

- une pluralité de sous-réseaux d'éléments rayonnants

caractérisée en ce que lesdits sous-réseaux,

- une pluralité de panneaux de support pour supporter respectivement ladite pluralité de sous-réseaux, les panneaux pouvant se mouvoir d'une première position pliée dans laquelle les panneaux se recouvrent au moins partiellement, à une seconde position déployée dans laquelle les panneaux sont sensiblement coplanaires,

et le réseau formateur de faisceau comprenant des moyens de mise en cohérence des signaux respectivement reçus par la pluralité de sous-réseaux par sommation pondérée de ces signaux en fonction de l'angle d'incidence recherché des signaux respectivement sur les sous-réseaux, des angles d'incidence réels des signaux sur chaque sous-réseau et des déphasages relatifs dus aux retards de propagation des signaux, caractérisé en ce que ledit réseau formateur de faisceaux est le réseau selon l'invention.

[0026] Selon un mode de réalisation, ladite pluralité de panneaux est composée d'une première et d'une seconde séries de panneaux pour la réception et l'émission de signaux radiofréquence, en ce que ledit système comporte un dispositif multi-sources d'émission destiné à émettre les signaux à émettre en direction de la seconde série de panneaux comportant des éléments rayonnants correspondant à chaque source, chaque élément rayonnant correspondant étant destiné à recevoir un signal propre destiné à être déphasé par lesdits moyens de déphasage en fonction de l'information de déformation reçue par le réseau, et en ce que le signal ainsi éventuellement déphasé est transmis à l'élément rayonnant respectif de la première série de panneaux pour transmission radiofréquence.

[0027] Selon un mode de réalisation, les moyens de traitement analogique des signaux radiofréquence reçus et à émettre sont agencés sur les panneaux.

[0028] Selon un mode de réalisation, lesdits moyens de traitement analogique sont reliés au réseau formateur de faisceaux par au moins une fibre optique.

[0029] L'invention a également pour objet un véhicule spatial, caractérisé en ce qu'il comporte un système de réception de signaux radiofréquence selon l'invention.

[0030] L'invention a également pour objet une méthode de formation de faisceau pour un réseau formateur de faisceau apte à collaborer avec une antenne radiofréquence embarquée dans un véhicule spatial, ladite antenne comprenant :

- une pluralité de sous-réseaux d'éléments rayonnants,
- une pluralité de panneaux de support pour supporter respectivement ladite pluralité de sous-réseaux, les panneaux pouvant se mouvoir d'une première position pliée de l'antenne dans laquelle les panneaux se recouvrent au moins partiellement, à une seconde position déployée dans laquelle les panneaux sont sensiblement coplanaires,

ladite méthode comprenant une étape de mise en cohérence des signaux respectivement reçus par la pluralité de sous-réseaux par sommation pondérée de ces signaux en fonction de l'angle d'incidence attendu des signaux respectivement sur les sous-réseaux, et des déphasages relatifs attendus dus aux retards de propagation des signaux,

caractérisé en ce que ladite méthode comprend, préalablement à l'étape de mise en cohérence, une étape d'estimation d'une information représentative d'une déformation des positions relatives entre panneaux par rapport à une configuration prédéterminée attendue, et en ce que ladite sommation desdits signaux se réalise également en fonction de ladite information représentative de déformation.

[0031] Selon un mode de réalisation, ladite information représentative de déformation comprend l'angle formé entre lesdits deux panneaux adjacents, cet angle étant utilisé pour la sommation.

[0032] Selon un mode de réalisation, ladite méthode comprend une étape d'émission d'un signal de balise par un émetteur distant de signal de balise, la localisation de cet émetteur étant connue de manière à permettre l'estimation de ladite information représentative d'une déformation par rapport à ladite configuration prédéterminée attendue.

[0033] L'invention a également pour objet un système comprenant :

- un véhicule spatial selon l'invention,
- et au moins un émetteur distant de signal de balise, la localisation de cet émetteur étant connue par le véhicule spatial de manière à permettre l'estimation de ladite information représentative d'une déformation par rapport à ladite configuration prédéterminée attendue.

[0034] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront avec la description de certains de ses modes de réalisations, celle-ci étant effectuée en ce référant aux dessins ci-annexés sur lesquels :

- la figure 1, déjà décrite, montre un territoire divisé en zones qui est couvert par une antenne à bord d'un satellite géostationnaire,
- la figure 2, également déjà décrite, représente schématiquement une antenne de réception de l'état antérieur de la technique,
- la figure 3 représente un satellite de télécommunications à antenne réseau dans sa position déployée selon un premier mode de réalisation,
- La figure 4 représente les éléments constitutifs d'un sous-réseau d'un panneau selon un mode de réalisation de l'invention,
- la figure 5 représente schématiquement en coupe deux panneaux de support d'éléments rayonnants lorsque ceux-ci sont coplanaires,
- la figure 6 représente schématiquement en coupe

ces deux mêmes panneaux, le plan de l'un d'eux ayant subi une déviation donnée par rapport au plan de l'autre,

- les figures 7 et 8 représentent des variantes du satellite 1 de télécommunications de la figure 3, dans laquelle le principe de l'invention de prise en compte d'une information de déformation des panneaux est employé non seulement pour la réception mais également pour l'émission.

[0035] Dans la suite de la description, les éléments réalisant des fonctions similaires pourront porter des mêmes références à travers différentes figures.

[0036] La figure 3 représente un satellite 1 de télécommunications à antenne 2 réseau dans sa position déployée selon un premier mode de réalisation.

[0037] Au corps 3 du satellite sont rattachés deux panneaux 4 de générateur solaire destinés à la transformation de l'énergie solaire en énergie électrique. Ces panneaux 4 sont en mode déployé sur la figure 3. De part et d'autre du corps 3 du satellite sont également agencés l'antenne 2 de réception et une antenne 5 d'émission. Dans le présent mode de réalisation, l'antenne d'émission est de conception classique et ne met pas en oeuvre l'invention. Les amplificateurs de puissance et autres éléments nécessaires à la partie d'émission peuvent être, en tout ou partie, hébergés sur le corps du satellite, ceci grâce à l'économie d'encombrement sur le corps du satellite que confère l'invention du côté de la partie de réception.

[0038] L'antenne 2 réseau est composé d'une pluralité de panneaux 8 plans disposés à proximité du corps du satellite. Ces panneaux servent de support de sous-réseaux 6 d'éléments 7 rayonnants à polarisateur, schématiquement représentés sur la figure 3 pour l'un des sous-réseaux. Les panneaux ne sont pas nécessairement liés entre eux par un mécanisme de joints fixes. La liaison entre les panneaux ainsi que celle reliant certains des panneaux 8 au corps du satellite peut se réaliser par des câbles 9. Chaque sous-réseau 6 est assimilable à un réseau actif dit réseau de rayonnement direct ou DRA (de l'anglais "Direct Radiating Array").

[0039] La figure 4 représente, en coupe, les éléments constitutifs d'un sous-réseau 6 d'un panneau 8 selon un mode de réalisation de l'invention. Les signaux arrivant sur le sous-réseau 6 d'un panneau sont reçus par les éléments 7 rayonnants du sous-réseau. Le signal reçu sur chaque voie d'élément rayonnant est d'abord filtré par un bloc 10 de filtrage et d'amplification à faible bruit dit LNA ("Low Noise Amplifier" en anglais) destiné à filtrer et à n'amplifier la partie du signal reçu uniquement centré sur la fréquence désirée et particulièrement à éliminer la fréquence d'émission. Le signal ainsi filtré sur chaque voie est alors fourni en sortie du bloc de filtrage et d'amplification à un échantillonneur-bloqueur 11 destiné à prélever un échantillon de la modulation du signal hyperfréquence reçu. Selon le présent mode de réalisation, cet échantillonneur est de conception optique et

délivre les échantillons sur une fibre optique 12. Des câbles électriques, non représentés, permettent l'alimentation en énergie électrique des amplificateurs 10 et des échantillonneurs 11.

[0040] Chaque fibre optique 12 de chaque panneau est reliée à des entrées 130 de réception d'une unité 13 de traitement numérique également appelée réseau formateur de faisceaux ou BFN (pour "Beam Forming Network" en anglais). Ce réseau 13 est destiné à ce que la surface totale des sous-réseaux servent à capter de façon optimale l'énergie radioélectrique émise par les terminaux terrestres, comme expliqué dans la suite. Ceci est notamment réalisé par la mise en cohérence et la sommation de tous les signaux utiles reçus de toutes les fibres optiques correspondant aux différentes voies de réception.

[0041] On notera que cette sommation s'effectue de façon cohérente pour les signaux utiles, ceci en utilisant le principe selon l'invention d'utilisation de l'information sur la géométrie relative des différents panneaux, et de façon incohérente pour les bruits thermiques et autres signaux parasites ayant au non le même angle d'incidence que les signaux utiles.

[0042] On notera également que toute la partie de traitement analogique des signaux se trouve sur les panneaux et que le réseau 13 procède à un traitement numérique par calcul. Par exemple, le réseau 13 est un microcontrôleur et la mise en cohérence est réalisée par des moyens connus de mise en cohérence qui peuvent être une partie logicielle 131.

[0043] Le principe de l'invention se base sur le fait selon lequel la direction d'arrivée du front d'onde correspondant à une onde émise par un terminal terrestre et arrivant sur les panneaux 8 n'est pas la même pour chacun des panneaux si ceux-ci ont des positions relatives fluctuantes au cours du temps. Pour former les faisceaux par calcul, il est donc nécessaire que le réseau 13 formateur de faisceaux somme les signaux issus des différents éléments rayonnants en tenant compte, pour chaque échantillon, de la position relative de chaque panneau. Le retard ou déphasage à compenser dans le traitement numérique d'un signal correspondant à un élément rayonnant donné doit alors être basé sur la conjugaison des paramètres de l'angle d'incidence de ce signal, de la distance de cet élément par rapport aux autres et de l'angle qu'il forme avec les autres éléments rayonnants de réception. Bien entendu, les panneaux supportant chaque élément rayonnant leur étant parallèles, il revient au même résultat que de se référer aux angles que forment respectivement les différents panneaux entre eux.

[0044] La figure 5 illustre schématiquement, dans un cas simplifié à deux dimensions pour la clarté de l'exposé, deux panneaux 81, 82 supportant respectivement des éléments rayonnants 71, 72, les panneaux étant interconnectés par un câble 9. Sur cette figure, les panneaux et leurs éléments rayonnants sont coplanaires et le front d'onde 14 attaque les éléments rayonnants se-

lon un angle θ par rapport à la perpendiculaire aux panneaux, ceci étant vrai pour les deux panneaux. Dans cette configuration, la loi de phase est adaptée au niveau du réseau 13 formateur de faisceaux pour concentrer l'énergie rayonnée dans la direction θ .

[0045] Par contre, sur la figure 6, suite à une déformation mécanique de cause diverse (force centrifuge, etc), le plan du panneau 82 a subi une déviation α par rapport au plan du panneau 81. Comme on le constate sur la figure 6, en tenant compte du même angle d'incidence θ que sur la figure 5 et de l'angle de déviation α du panneau 82 par rapport au panneau 81, la loi de phase des éléments rayonnants 72 du panneau 81 est alors adaptée pour maximiser le rayonnement d'énergie dans la direction Δ faisant un angle de $\theta + \alpha$ avec la perpendiculaire au plan du panneau 81. Dans cette configuration, pour remédier au problème de dépointage expliqué ci-dessus, il est nécessaire de corriger la mise en cohérence des deux signaux issus des éléments rayonnants 71, 72 en introduisant, dans la sommation, une pondération représentative du déphasage de $-\alpha$. Ce traitement peut être réalisé par calcul logiciel au niveau du réseau 13 à partir de l'estimation, au sein de moyens d'estimation 135, dudit angle α .

[0046] La détermination de cet angle α peut être effectuée par la transmission régulière d'un signal de balise prédéterminé. Le signal de balise est avantageusement émis depuis une station terrestre. Ce signal de balise a une puissance telle que chaque élément rayonnant puisse recevoir ce signal avec un rapport signal à bruit suffisant. De cette sorte, ce signal reçu par chaque élément rayonnant peut être véhiculé vers le réseau 13. Celui-ci, connaissant la position de la station au sol émettrice du signal de balise et connaissant la position et l'attitude du véhicule spatial, connaît l'angle d'incidence du signal arrivant, et peut en déduire par un simple calcul géométrique préenregistré, la valeur de l'angle α . Cette méthode présente l'avantage d'être auto-adaptative pour suivre l'évolution de la géométrie relative des panneaux.

[0047] Dans le présent mode de réalisation, le signal de balise est émis par une station au sol (non représentée) de façon périodique de manière à obtenir une valeur de cet angle mise à jour régulièrement. Bien entendu, comme on le verra dans la suite, le signal de balise peut provenir d'un autre endroit, tel qu'un émetteur sur le satellite, ou sur un autre satellite ou encore utiliser tout autre signal de référence véhiculé dans le média aérien, le principe étant de pouvoir bénéficier d'un signal détectable par le réseau 13 comme étant un signal de référence pour la mesure de l'angle α .

[0048] Les figures 7 et 8 représentent des variantes du satellite 1 de télécommunications de la figure 3, dans laquelle le principe de l'invention de prise en compte d'une information de déformation des panneaux est employé non seulement pour la réception mais également pour l'émission. Le principal avantage de la structure telle que décrite pour les figures 7 et 8 est celui du bénéfice

des caractéristiques autocorrectives du réseau 13 formateur de faisceaux quelles que soient les déformations relatives que peuvent subir les positions des panneaux entre eux.

[0049] Dans un souci de clarté, la partie analogique de traitement des signaux reçus et à émettre est éclatée sous les panneaux 8 sur la figure 7 et entre les panneaux 8rx de réception et 8tx d'émission sur la figure 8.

[0050] Sur les figures 7 et 8, l'échantillonneur-bloqueur de conception optique de la figure 4 a été remplacé par un convertisseur analogique-numérique 15 relié électriquement par une liaison 16 au réseau 13.

[0051] En sus de la partie analogique de réception telle que décrite sur la figure 4, à chaque élément rayonnant ont été reliés une ligne à retard 19 et un déphaseur 20 commandable pour le traitement du signal à l'émission.

[0052] Le mode de réalisation de la figure 7 illustre un mât 17 relié au corps 3 du satellite et portant le dispositif 18 multismources d'émission. Ce type d'agencement est connu sous le nom de réseau réflecteur ou encore "reflect-array" en anglais.

[0053] Le déphaseur 20 qui est relié un élément rayonnant reçoit un signal de commande d'un port 132 de sortie du réseau 13 pour commander la valeur de déphasage de l'élément à l'émission. Le déphaseur est commandé de telle sorte à modifier la phase de l'onde à émettre, cette modification étant de l'ordre de la déviation subie par le panneau supportant ledit élément rayonnant (angle α dans l'exemple de la figure 6). La ligne à retard 19 en série permet de compenser le retard de propagation entre le dispositif multi-sources 19 et l'élément rayonnant 7.

[0054] La figure 8 illustre une variante de la réalisation de la figure précédente, dans laquelle il est utilisé deux séries de panneaux en mode déployé, la première série orientée vers le signal à recevoir du terminal terrestre et la seconde série en regard à la première série et dont les éléments rayonnants sont sur la face opposée à celle en regard à la première série. Ces éléments rayonnants 8tx font face au dispositif 18 multismources d'émission et sont destinés à recevoir les signaux émis par les sources 183 de ce dispositif 18. Cet agencement est connu sous le terme de lentille de type "bootlace". Le déphaseur 20 qui est relié à un élément rayonnant reçoit un signal de commande d'un port 132 de sortie du réseau 13 pour commander la valeur de déphasage de l'élément à l'émission. Le déphaseur est commandé de telle sorte à modifier la phase de l'onde à émettre, cette modification étant de l'ordre de la déviation subie par le panneau supportant ledit élément rayonnant (angle α dans l'exemple la figure 6).

[0055] Les modes de réalisation des figures 7 et 8 présentent le particulier avantage de centralisation des amplifications à l'émission, ce qui permet l'utilisation de tubes à ondes progressives au lieu de SSPA, et par conséquent un meilleur rendement de puissance à l'émission. D'autre part, la série de panneaux supportant les

panneaux 8tx ne comporte pas de blocs d'amplification de puissance pour l'émission, ce qui est favorable au contrôle thermique de ces panneaux, et donc ce qui peut les qualifier de panneaux dits "froids". Toutefois, un mode de réalisation (non représenté) mettant en oeuvre des amplificateurs de puissance pour l'émission sur les panneaux présente d'autres avantages.

[0056] On notera que le mode de réalisation de la figure 8 présente une plus grande robustesse aux déformations, la compensation d'un trajet avant étant réalisée par un trajet arrière.

[0057] Bien entendu, l'invention n'est pas liée aux modes de réalisation décrits ci-dessus.

[0058] Ainsi, les fibres optiques utilisées 12 pour la connexion de la partie de traitement analogique des signaux au réseau 13 formateur de faisceaux peut être remplacé par tout autre moyen de connexion électrique. La fibre optique a l'avantage de réduire l'encombrement des connexions.

[0059] Le déploiement utilisé pour l'ouverture/fermeture des panneaux de support peut être de tout type.

Revendications

1. Réseau formateur de faisceaux apte à collaborer avec une antenne (2) active multi-zones à réseaux d'un véhicule spatial comprenant :

- une pluralité de sous-réseaux (6) d'éléments (7) rayonnants,
- une pluralité de panneaux (8, 8rx, 8tx) de support pour supporter respectivement ladite pluralité de sous-réseaux, les panneaux pouvant se mouvoir d'une première position pliée dans laquelle les panneaux se recouvrent au moins partiellement, à une seconde position déployée dans laquelle les panneaux sont sensiblement coplanaires,
- ledit réseau formateur de faisceau comprenant des moyens (131) de mise en cohérence des signaux respectivement reçus par la pluralité de sous-réseaux par sommation pondérée de ces signaux en fonction de l'angle d'incidence (θ) attendu des signaux respectivement sur les sous-réseaux et des déphasages relatifs attendus dus aux retards de propagation des signaux entre sous-réseaux,

caractérisé en ce que

ledit réseau formateur de faisceau comprend en outre des moyens d'estimation d'une information représentative d'une déformation (α) des positions relatives entre panneaux par rapport à une configuration prédéterminée attendue, et **en ce que** ladite sommation desdits signaux se réalise également en fonction de ladite information représentative de déformation.

2. Réseau formateur de faisceaux selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'il** comprend des moyens numériques de traitement de signaux.

3. Réseau formateur de faisceaux selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** les moyens numériques de traitement de signaux comprennent des moyens de calcul logiciel.

4. Réseau formateur de faisceaux selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que**, lesdits éléments rayonnants étant destinés à être employés pour la réception et l'émission de signaux de façon alternative ou simultanée, chaque élément rayonnant des panneaux est relié à des moyens respectifs (20) de déphasage aptes à modifier la phase de l'onde à émettre, et **en ce que** le réseau formateur de faisceaux comporte des moyens (132) pour commander respectivement lesdits moyens de déphasage de manière à ce que la modification respective de la phase des éléments rayonnants des panneaux de positions déformées compense cette déformation.

5. Système de réception de signaux radiofréquence comprenant une antenne radiofréquence multi-zones pour véhicule spatial (1) et un réseau formateur de faisceaux, l'antenne comprenant :

- une pluralité de sous-réseaux d'éléments rayonnants

caractérisée en ce que lesdits sous-réseaux,

- une pluralité de panneaux de support pour supporter respectivement ladite pluralité de sous-réseaux,

les panneaux pouvant se mouvoir d'une première position pliée dans laquelle les panneaux se recouvrent au moins partiellement, à une seconde position déployée dans laquelle les panneaux sont sensiblement coplanaires,

et le réseau formateur de faisceau comprenant des moyens de mise en cohérence des signaux respectivement reçus par la pluralité de sous-réseaux par sommation pondérée de ces signaux en fonction de l'angle d'incidence recherché des signaux respectivement sur les sous-réseaux, des angles d'incidence réels des signaux sur chaque sous-réseau et des déphasages relatifs dus aux retards de propagation des signaux,

caractérisé en ce que ledit réseau formateur de faisceaux est le réseau (13) selon l'une des revendications 1 à 4.

6. Système de réception selon la revendication 5,

caractérisé en ce que ladite pluralité de panneaux est composée d'une première et d'une seconde séries de panneaux pour la réception et l'émission de signaux radiofréquence, **en ce que** ledit système comporte un dispositif multi-sources d'émission destiné à émettre les signaux à émettre en direction de la seconde série de panneaux comportant des éléments rayonnants correspondant à chaque source, chaque élément rayonnant correspondant étant destiné à recevoir un signal propre destiné à être déphasé par lesdits moyens de déphasage en fonction de l'information de déformation reçue par le réseau, et **en ce que** le signal ainsi éventuellement déphasé est transmis à l'élément rayonnant respectif de la première série de panneaux pour transmission radiofréquence.

7. Système de réception selon la revendication 5 ou 6, **caractérisé en ce que** les moyens de traitement analogique des signaux radiofréquence reçus et à émettre sont agencés sur les panneaux. 20
8. Système de réception selon la revendication 7, **caractérisé en ce que** lesdits moyens de traitement analogique sont reliés au réseau formateur de faisceaux par au moins une fibre optique. 25
9. Véhicule spatial, **caractérisé en ce qu'il** comporte un système de réception de signaux radiofréquence selon l'une des revendications 5 à 8. 30
10. Méthode de formation de faisceau pour un réseau (13) formateur de faisceau apte à collaborer avec une antenne (2) radiofréquence multi-zones embarquée dans un véhicule (1) spatial, ladite antenne comprenant : 35
 - une pluralité de sous-réseaux (6) d'éléments (7) rayonnants,
 - une pluralité de panneaux (8, 8rx, 8tx) de support pour supporter respectivement ladite pluralité de sous-réseaux, 40

les panneaux pouvant se mouvoir d'une première position pliée de l'antenne dans laquelle les panneaux se recouvrent au moins partiellement, à une seconde position déployée dans laquelle les panneaux sont sensiblement coplanaires, ladite méthode comprenant une étape de mise en cohérence des signaux respectivement reçus par la pluralité de sous-réseaux par sommation pondérée de ces signaux en fonction de l'angle d'incidence attendu des signaux respectivement sur les sous-réseaux, et des déphasages relatifs attendus dus aux retards de propagation des signaux, 45

caractérisé en ce que ladite méthode comprend, préalablement à l'étape de mise en cohérence, une étape d'estimation d'une information représentative 50

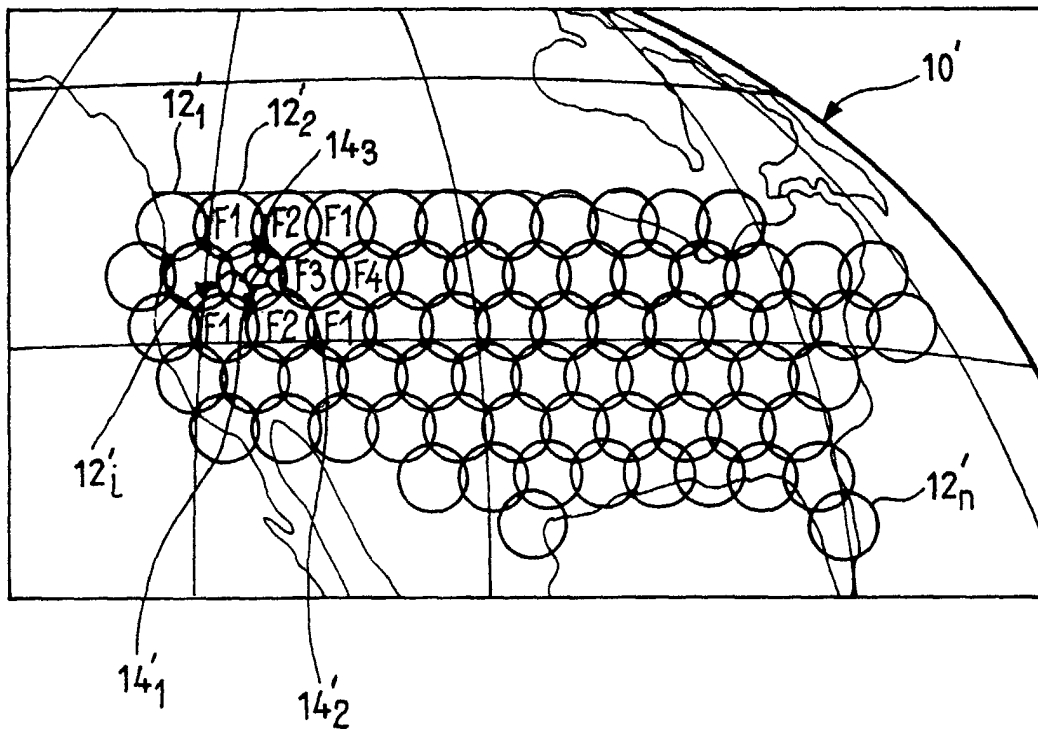
55

d'une déformation des positions relatives entre panneaux par rapport à une configuration prédéterminée attendue,

et **en ce que** ladite sommation desdits signaux se réalise également en fonction de ladite information représentative de déformation.

11. Méthode de formation de faisceaux selon la revendication 10, **caractérisé en ce que** ladite information représentative de déformation comprend l'angle formé entre lesdits deux panneaux adjacents, cet angle étant utilisé pour la sommation.
12. Méthode de formation de faisceaux selon la revendication 10 ou 11, **caractérisé en ce que** ladite méthode comprend une étape d'émission d'un signal de balise par un émetteur distant de signal de balise, la localisation de cet émetteur étant connue de manière à permettre l'estimation de ladite information représentative d'une déformation par rapport à ladite configuration prédéterminée attendue.
13. Système comprenant :
 - un véhicule spatial selon la revendication 10,
 - et au moins un émetteur distant de signal de balise, la localisation de cet émetteur étant connue par le véhicule spatial de manière à permettre l'estimation de ladite information représentative d'une déformation par rapport à ladite configuration prédéterminée attendue.

FIG_1



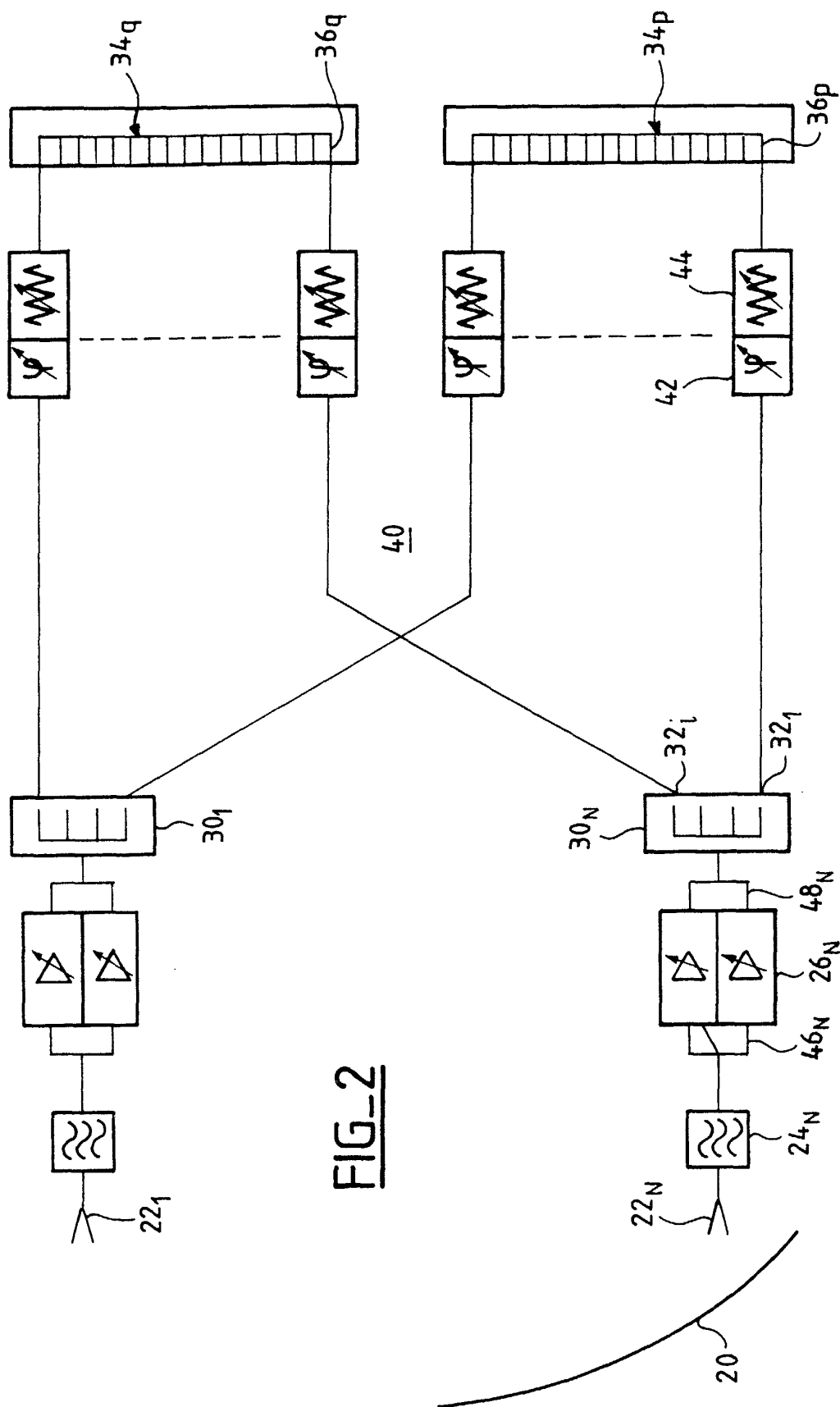
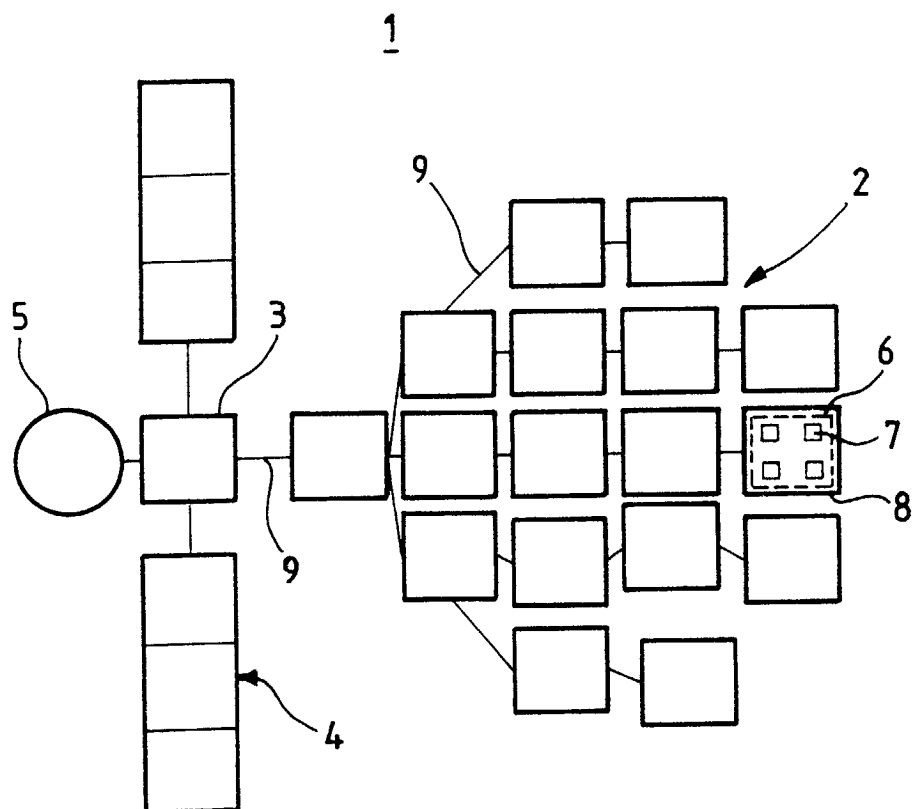
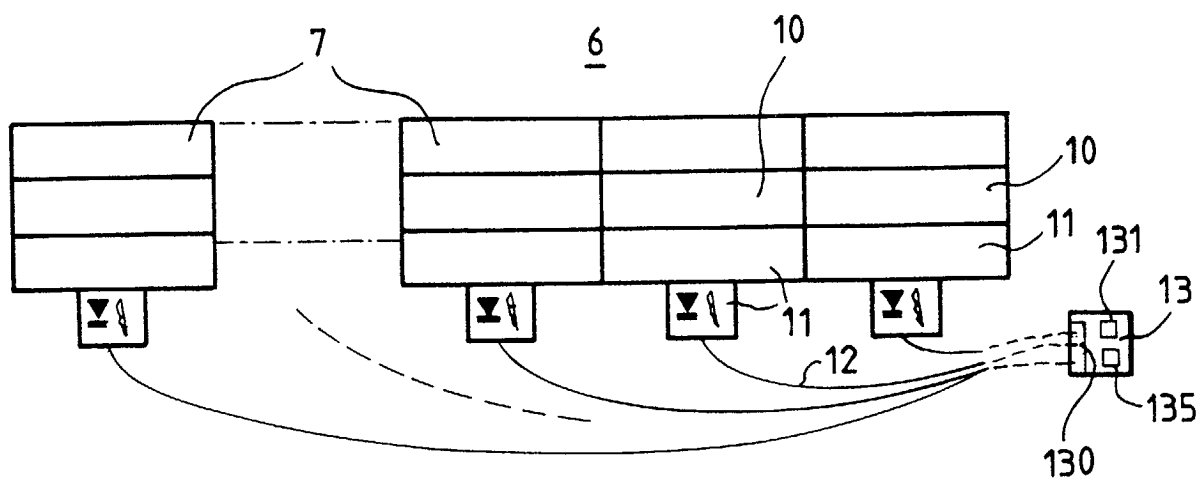


FIG-2

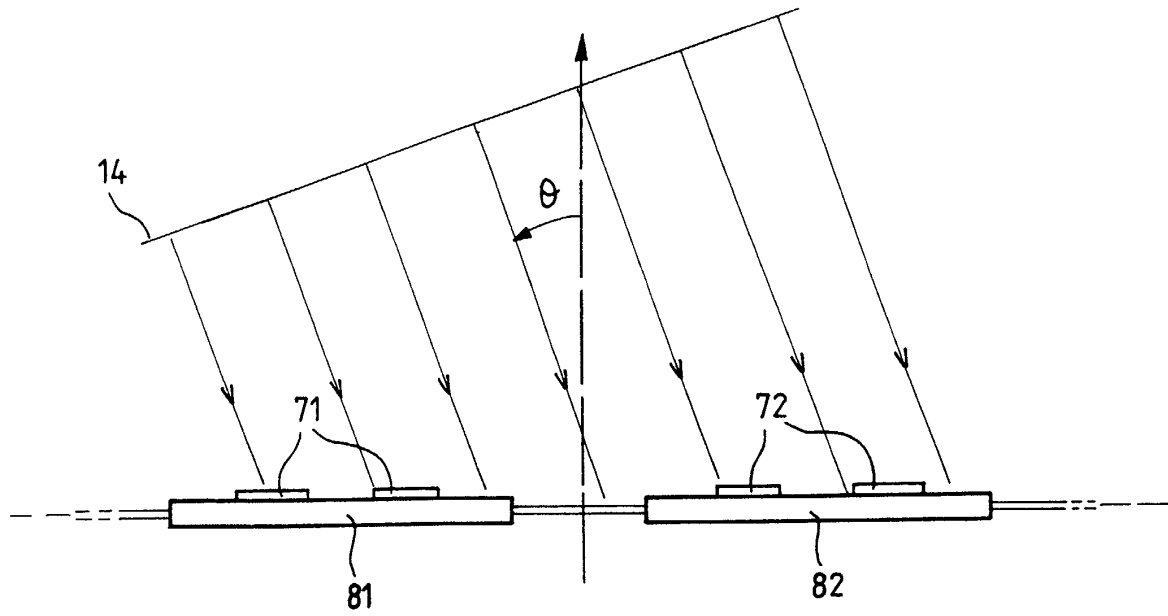
FIG_3



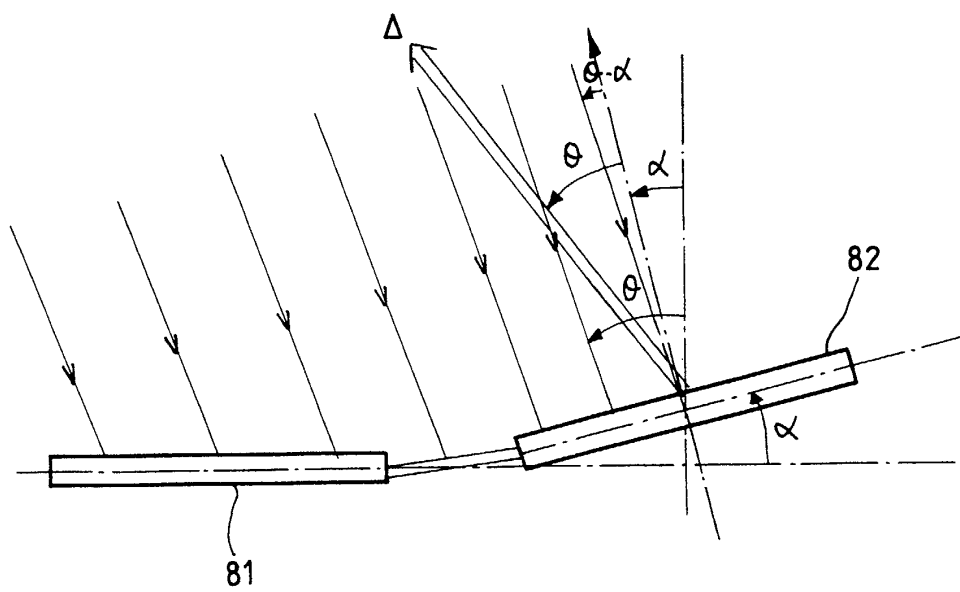
FIG_4

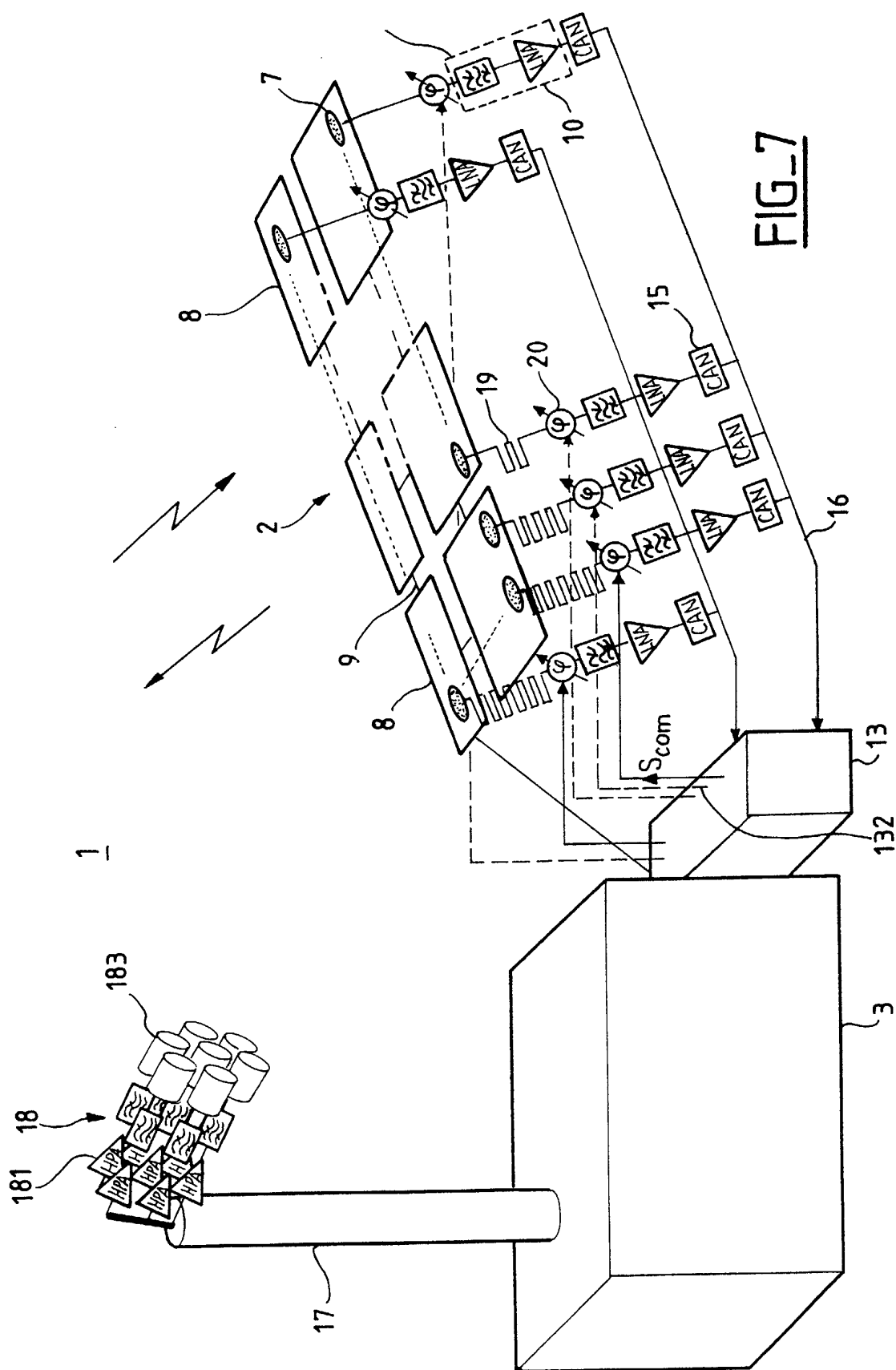


FIG_5



FIG_6





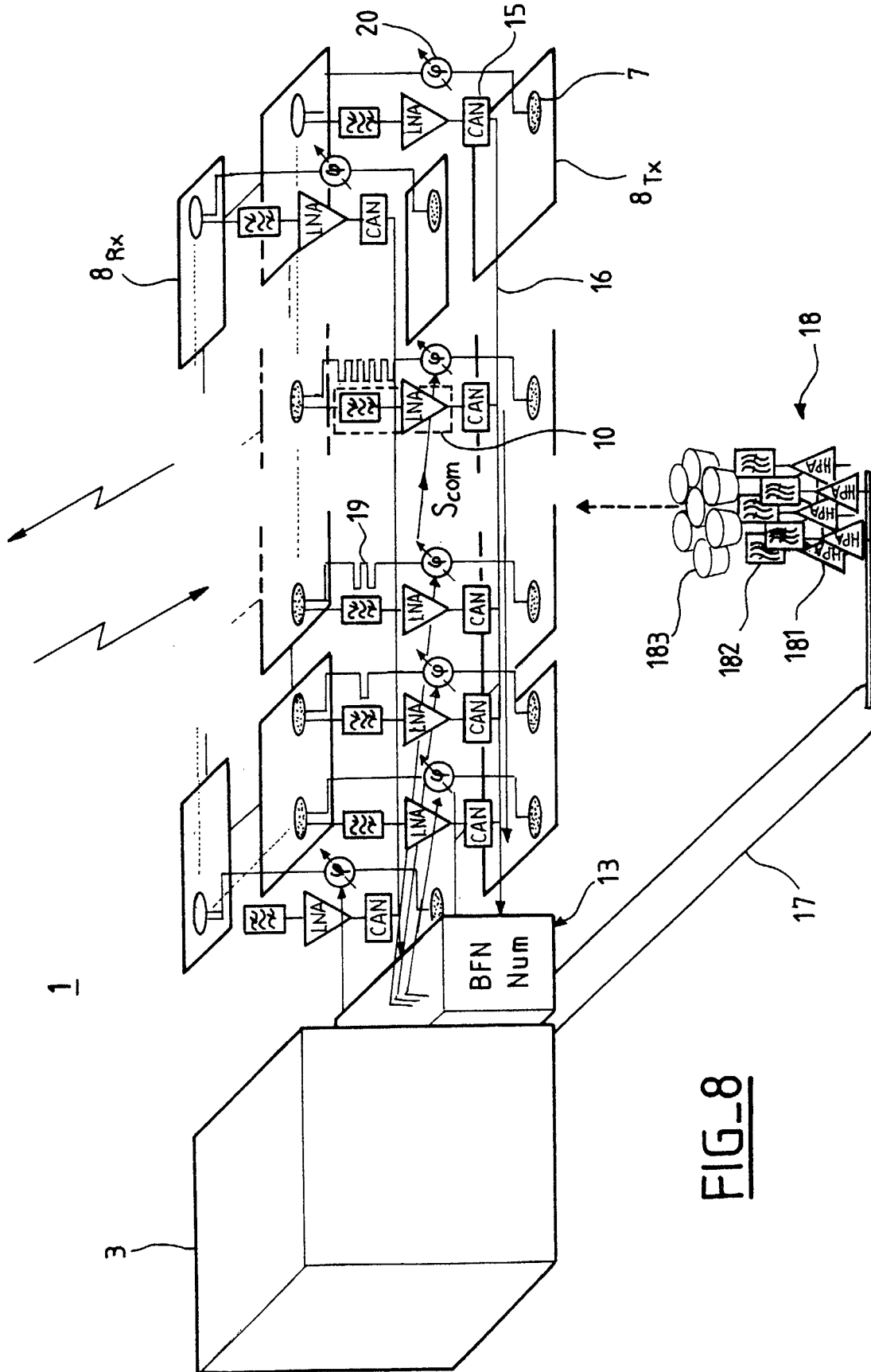


FIG-8



Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande
EP 02 29 1819

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)
D,Y	US 5 430 451 A (KAWANISHI TONEO ET AL) 4 juillet 1995 (1995-07-04)	1-5,7-11	H01Q1/28 H01Q3/26 H01Q21/06
A	* le document en entier *	6	
Y	YONEZAWA R ET AL: "BEAM-SHAPE CORRECTION IN DEPLOYABLE PHASED ARRAYS" IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION, IEEE INC. NEW YORK, US, vol. 47, no. 3, mars 1999 (1999-03), pages 482-486, XP000830208 ISSN: 0018-926X * le document en entier *	1-5,7-11	
A	US 5 175 556 A (BERKOWITZ MILTON) 29 décembre 1992 (1992-12-29) * le document en entier *	12,13	
A	WO 00 72462 A (RAYTHEON CO) 30 novembre 2000 (2000-11-30) * figure 2 *	2,3	
A	US 6 104 343 A (BROOKNER ELI ET AL) 15 août 2000 (2000-08-15) * figure 1 *	4	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.7) H01Q
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 10 décembre 2002	Examineur 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 03/92 (P04C02)

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

EP 02 29 1819

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.

10-12-2002

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication		Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 5430451	A	04-07-1995	JP	3178744 B2	25-06-2001
			JP	6090114 A	29-03-1994
			FR	2697375 A1	29-04-1994

US 5175556	A	29-12-1992	CA	2068136 A1	08-12-1992
			DE	4218371 A1	10-12-1992
			FR	2681190 A1	12-03-1993
			GB	2257568 A ,B	13-01-1993
			JP	5183324 A	23-07-1993

WO 0072462	A	30-11-2000	AU	6889300 A	12-12-2000
			EP	1195017 A2	10-04-2002
			WO	0072462 A2	30-11-2000

US 6104343	A	15-08-2000	AU	2103999 A	02-08-1999
			WO	9936992 A2	22-07-1999
			US	6232920 B1	15-05-2001

EPO FORM P0460

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