

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 30.10.97.

30 Priorité : 30.10.96 US 739529.

43 Date de la mise à disposition du public de la demande : 30.04.98 Bulletin 98/18.

56 Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Ce dernier n'a pas été établi à la date de publication de la demande.*

60 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

71 Demandeur(s) : MOTOROLA INC SOCIETE DE DROIT DE L'ÉTAT DU DELAWARE — US.

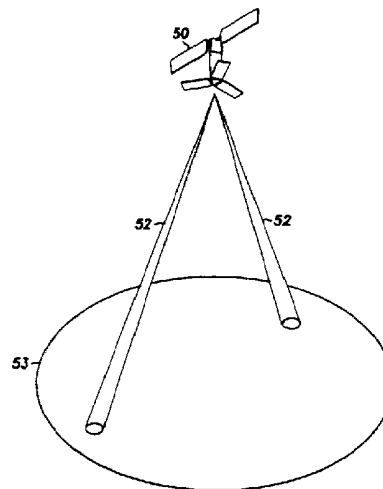
72 Inventeur(s) : TURCOTTE RANDY LEE, MA STEPHEN CHIH HUNG et AGUIRRE SERGIO.

73 Titulaire(s) :

74 Mandataire : CABINET BEAU DE LOMENIE.

54 PROCÉDE ET SYSTÈME DE MISE EN FORME NUMÉRIQUE DE FAISCEAUX, DU TYPE INTELLIGENT, CAPABLE DE REPOUDRE AUX DEMANDES DE TRAFIC.

57 Un dispositif de mise en forme numérique de faisceaux, ce dispositif étant dit intelligent, produit, en collaboration avec une antenne à groupement d'éléments rayonnants placée sur un satellite (50), une pluralité de faisceaux d'antenne dynamiquement ajustables (52) pour assurer la communication avec des unités d'abonnés en réponse à une demande de services de télécommunications. Les parties géographiques comprises à l'intérieur de l'empreinte du satellite qui ont une plus forte demande en services de télécommunications sont dynamiquement dotées de faisceaux d'antenne supplémentaires, tandis que les parties géographiques qui ont une demande plus faible en services de télécommunications sont dotées de moins de faisceaux d'antenne. En cas d'utilisation sur un satellite non géostationnaire, les coefficients de mise en forme numérique des faisceaux sont dynamiquement ajustés afin de diriger les faisceaux d'antenne de manière à maintenir leur positionnement au sol. Les faisceaux d'antenne sont ainsi conformés pour aider à obtenir une couverture géographique optimisée.



FR 2 755 329 - A1



DOMAINE DE L'INVENTION

Cette invention concerne le domaine des antennes à balayage électronique et, plus particulièrement, la mise en forme numérique des faisceaux.

5

SITUATION DE L'INVENTION PAR RAPPORT A LA TECHNIQUE ANTERIEURE

Les systèmes de télécommunications par satellites ont utilisé des antennes à groupement d'éléments rayonnants à déphasage, dites à balayage électronique, pour communiquer avec des utilisateurs multiples par l'intermédiaire de faisceaux d'antenne multiples. Typiquement, on combine des techniques efficaces de modulation de la largeur de bande avec des techniques d'accès multiples, et on emploie des procédés de séparation de fréquence pour augmenter le nombre d'utilisateurs. Toutefois, l'environnement électronique devenant de plus en plus dense du fait de la prolifération des dispositifs personnels de transmission sans fil tel que les téléphones cellulaires et les dispositifs de recherche de personnes, il est demandé à ces systèmes de télécommunications sans fil de fournir encore plus d'informations et d'être encore plus sophistiqués. Par exemple, eu égard au nombre des utilisateurs se trouvant en compétition pour avoir accès à un spectre de fréquence limité, l'atténuation des interférences entre les divers systèmes est la clé qui permettra de résoudre le problème de l'attribution des fréquences dans le spectre aux divers systèmes.

En outre, le concept de partage spectral, par exemple la capacité de systèmes multiples à utiliser en même temps un spectre commun, revêt une importance majeure aux yeux d'organismes gouvernementaux tels que la "Federal Communications Commission" (FCC), qui délivre les licences de télécommunications aux opérateurs des systèmes de satellites.

Ce dont il est besoin, c'est un système de télécommunications qui réduit les interférences avec d'autres systèmes, tout en partageant le spectre avec ces autres systèmes. Par conséquent, ce qu'il faut, ce sont un appareil et un procédé qui peuvent partager le spectre et permettre son partage avec d'autres systèmes de télécommunications.

Alors que toute une variété de techniques de mise en forme des faisceaux ont été développés, les systèmes actuels d'antennes de mise en forme numérique de faisceaux ne sont pas dotés des performances en matière de calcul exigées par de nombreuses applications des systèmes de télécommunications. Par

conséquent, le besoin existe d'un système de mise en forme numérique du faisceau qui fournisse une puissance de calcul très performante pour un coût réduit.

BREVE DESCRIPTION DES DESSINS

5

La description suivante, conçue à titre d'illustration de l'invention, vise à donner une meilleure compréhension de ses caractéristiques et avantages ; elle s'appuie sur les dessins annexés, dans lesquels des numéros de référence identiques se rapportent à des éléments semblables, et où :

10 la figure 1 est un schéma fonctionnel montrant des parties réceptrice et émettrice d'un satellite, incorporant un dispositif de mise en forme numérique de faisceaux selon un mode de réalisation préféré de l'invention ;

15 la figure 2 est un schéma fonctionnel montrant un terminal basé au sol et une antenne à groupement d'éléments rayonnants comportant un dispositif de mise en forme numérique de faisceaux selon le mode de réalisation préféré de l'invention ;

la figure 3 montre un satellite géostationnaire utilisant un dispositif de mise en forme numérique de faisceaux selon un mode de réalisation préféré de l'invention, partageant le spectre avec un satellite non géostationnaire ;

20 la figure 4 montre un satellite fournissant des faisceaux d'antenne distincts à l'aide d'un dispositif de mise en forme numérique de faisceaux selon l'invention ;

25 la figure 5 montre des projections de faisceaux d'antenne sur la surface d'une partie de la Terre à l'aide d'un dispositif de mise en forme numérique de faisceaux selon un mode de réalisation préféré de l'invention, qui répondent à des demandes de services de télécommunications ;

les figures 6 et 7 sont des organigrammes illustrant une procédure de réduction des interférences et d'attribution des faisceaux d'antenne selon un mode de réalisation préféré de l'invention ;

30 la figure 8 est un organigramme montrant une procédure qui permet de fournir des faisceaux d'antenne à des régions géographiques en réponse à des demandes de services de télécommunications ;

la figure 9 est un schéma fonctionnel montrant un dispositif de mise en forme numérique de faisceaux selon un mode de réalisation préféré de l'invention ;

35 la figure 10 est un schéma fonctionnel représentant un premier mode de réalisation d'une unité de calcul utilisable de manière voulue dans le dispositif

de mise en forme numérique de faisceaux du mode de réalisation préféré de l'invention ;

la figure 11 est un schéma fonctionnel représentant un deuxième mode de réalisation d'une unité de calcul utilisable de manière voulue dans le dispositif
5 de mise en forme numérique de faisceaux du mode de réalisation préféré de l'invention ;

la figure 12 est un schéma fonctionnel représentant un troisième mode de réalisation d'une unité de calcul utilisable de manière voulue dans le dispositif de mise en forme numérique de faisceaux du mode de réalisation préféré de
10 l'invention ;

la figure 13 est un schéma fonctionnel représentant un premier mode de réalisation d'un processeur d'addition utilisable de manière voulue dans le dispositif de mise en forme numérique de faisceaux du mode de réalisation préféré de l'invention ;

la figure 14 est un schéma fonctionnel représentant un deuxième mode de réalisation d'un processeur d'addition utilisable de manière voulue dans le dispositif de mise en forme numérique de faisceaux du mode de réalisation préféré de l'invention ; et

la figure 15 est un schéma fonctionnel montrant un dispositif de mise
20 en forme numérique de faisceaux selon un deuxième mode de réalisation de l'invention.

RESUME DE L'INVENTION

25 La présente invention fournit, entre autre choses, un dispositif de mise en forme numérique de faisceaux pouvant être utilisé de manière voulue dans des antennes à groupement d'éléments rayonnants. Dans le mode de réalisation préféré, le dispositif de mise en forme numérique de faisceaux fournit un procédé de réduction des interférences provenant de signaux interférants. L'invention fournit
30 également un procédé permettant le suivi de la position de signaux interférants, et réajuste les coefficients de mise en forme numérique de faisceaux afin de créer des zéros dans le diagramme d'antenne en direction de ce signal interférant. L'invention propose également un dispositif de mise en forme numérique de faisceaux qui réduit les interférences provenant de signaux interférants.

35 L'invention propose également un procédé permettant de communiquer avec des terminaux de télécommunications, des unités d'abonnés, des relais ou des

aéronefs utilisant une antenne à groupement d'éléments rayonnants qui possède un dispositif de mise en forme numérique de faisceaux. Dans un mode de réalisation préféré, les coefficients de mise en forme numérique de faisceaux sont ajustés afin d'améliorer ou de maximiser la qualité des signaux de télécommunications reçus de la part des terminaux de télécommunications. Dans un mode de réalisation de l'invention, le terminal de télécommunications fournit au satellite des indicateurs de qualité qui indiquent la qualité des signaux reçus par le terminal de télécommunications. En réponse à la réception d'indicateurs de qualité de liaison, le dispositif de mise en forme numérique de faisceaux se trouvant à bord du satellite ajuste de manière dynamique son diagramme de rayonnement d'antenne afin d'aider à optimiser le signal émis à destination du terminal de télécommunications. Dans un autre mode de réalisation de l'invention, les coefficients de mise en forme numérique de faisceaux sont réajustés pour aider de façon continue à maintenir et améliorer, ou maximiser, la qualité des signaux reçus tandis que le terminal de télécommunications et le satellite modifient leurs positions relatives.

L'invention propose également un procédé permettant de communiquer avec des terminaux de télécommunications à l'aide d'un dispositif de mise en forme de faisceaux embarqué dans un satellite comportant une antenne à groupement d'éléments rayonnants. Les coefficients du dispositif de mise en forme numérique de faisceaux sont ajustés de façon à fournir plus de faisceaux d'antenne à des régions géographiques ayant une forte demande de services de télécommunications et sont également ajustés pour fournir un moins grand nombre de faisceaux d'antenne à des régions ayant une faible demande de services de télécommunications. Dans le mode de réalisation préféré, lorsque la demande de services de télécommunications varie en fonction de la position géographique, le dispositif de mise en forme numérique de faisceaux selon l'invention attribue des faisceaux d'antenne ou attribue des faisceaux supplémentaires, de façon dynamique, en fonction des variations de la demande de services de télécommunications. L'invention propose également un terminal de télécommunications, tel qu'une unité d'abonné, qui communique avec des satellites, des stations de télécommunications ou d'autres terminaux de télécommunications en utilisant une antenne à groupement d'éléments rayonnants qui est configurée à l'aide d'un dispositif de mise en forme numérique de faisceaux.

DESCRIPTION DETAILLEE DES DESSINS

Les antennes à groupement d'éléments rayonnants du type analogique sont bien connues dans la technique. On commande les caractéristiques des faisceaux d'antenne en ajustant l'amplitude et la phase du signal reçu ou émis de chaque élément du groupement. Par l'intermédiaire de ces instructions, chaque faisceau d'antenne peut être conformé, sa direction de visée peut être définie, des zéros d'antenne peuvent être commandés, etc. Il est possible d'utiliser de multiples ajustements de l'amplitude et de la phase pour créer de multiples faisceaux d'antenne. En raison de la complexité de ces systèmes, la plupart des antennes à groupement d'éléments rayonnants du type analogique qui produisent des diagrammes de rayonnement d'antenne multiples sont des groupements d'éléments rayonnants à déphasage qui utilisent une matrice de Butler pour combiner les signaux provenant de chaque élément du groupement. En général, une fois qu'une matrice de Butler et un réseau de combinaison ont été élaborés, les caractéristiques des faisceaux d'antenne restent fixées. Selon l'invention, on utilise un dispositif de mise en forme numérique de faisceaux pour commander de façon dynamique l'amplitude et la phase de chacun des éléments rayonnants afin de former de multiples faisceaux d'antenne. Les caractéristiques des faisceaux, comme la direction de visée du faisceau principal, la direction de visée de l'un quelconque des autres faisceaux, la largeur de bande, la position des zéros, les corrections apportées aux irrégularités d'ouverture et d'autres caractéristiques des faisceaux, sont toutes commandées par utilisation d'un ajustement dynamique des coefficients des faisceaux. Une telle souplesse n'est pas possible dans les mises en oeuvre analogiques de groupements d'éléments rayonnants à déphasage.

La figure 1 est un schéma fonctionnel montrant les parties réceptrices et émettrices d'un satellite, incorporant un dispositif de mise en forme numérique de faisceaux selon un mode de réalisation préféré de l'invention. Le dispositif de mise en forme numérique de faisceaux 10 comporte un réseau 32 de mise en forme numérique de faisceaux (DBF) de réception, un module 34 de commande de faisceaux de réception, un dispositif 36 de commande de DBF de réception, un réseau DBF d'émission 40, un module de commande de faisceaux d'émission 42 et un dispositif de commande de DBF d'émission 48. Les parties réceptrices comportent une partie de réception d'une antenne 20 à groupement d'éléments rayonnants, un ou plusieurs modules récepteurs 26, et un ou plusieurs convertisseurs analogique-numérique (A/D) 28.

Le dispositif 10 de mise en forme de faisceaux réalise des fonctions de commande et de direction des faisceaux, qui sont nécessaires à la mise en forme de faisceaux d'antenne selon les caractéristiques voulues. Les signaux de sortie numériques que le dispositif de mise en forme de faisceaux 10 fournit à chaque
5 dispositif de mise en canaux de faisceau 35 sont de préférence équivalents au signal de sortie de l'un quelconque de faisceaux d'antenne uniques. Ces signaux de sortie numériques sont acheminés via les éléments de commutation de paquets à l'un ou l'autre, qui soit approprié, des trajets de transmission en liaisons croisées ou en liaison descendante. Dans le cas des liaisons descendantes, le processus est
10 inversé.

Le réseau 40 de mise en forme numérique de faisceaux d'émission applique les vecteurs appropriés de direction de faisceaux et de commande de faisceaux à chacun de ces signaux formant des faisceaux en liaison descendante, avec les caractéristiques prescrites. Ces signaux de bande de base sont reconvertis
15 en signaux analogiques et sont traduits aux fréquences des liaisons descendantes. Des amplificateurs de puissance excitent de préférence chacun des éléments respectifs du groupement. La partie émettrice comporte un ou plusieurs convertisseurs numérique-analogique (D/A) 44, un ou plusieurs modules émetteurs 46, et une partie d'émission de l'antenne 20 à groupement d'éléments rayonnants.

L'antenne à groupement d'éléments rayonnants 20 comporte des éléments 22 qui sont de préférence disposés suivant un groupement bidimensionnel, mais, toutefois, d'autres configurations de groupements peuvent convenir. Des signaux de radiofréquence (RF) reçus sont détectés et numérisés au niveau de l'élément. En dehors des cas d'évanouissement, les signaux reçus ont généralement
25 des amplitudes égales, mais des phases différentes, au niveau de chaque élément. Les signaux peuvent représenter un nombre quelconque de canaux de télécommunications.

En réponse aux signaux reçus, les modules récepteurs 26 produisent des signaux analogiques. Les modules récepteurs 26 réalisent les fonctions de
30 l'abaissement de fréquence (D/C), du filtrage, et de l'amplification (LNA, c'est-à-dire amplificateur à faible bruit) à un niveau de puissance acceptable pour le convertisseur A/D 28. Les informations de phase des signaux rayonnés sont conservées via une composante "en phase" (I) et une composante "en quadrature" (Q) incluses dans le signal analogique. Ces composantes I et Q représentent
35 respectivement les parties réelle et imaginaire du signal analogique complexe. Il

existe de préférence une correspondance biunivoque entre les éléments 22 et les modules récepteurs 26.

Les convertisseurs A/D 28 échantillonnent et numérisent les signaux analogiques de façon à produire des signaux numériques. Chaque convertisseur
5 A/D est de préférence attribué au traitement des signaux produits par un élément respectif du groupement. Après la conversion A/D, les signaux numériques vont au réseau de mise en forme numérique de faisceaux de réception 32, qui calcule des sommes pondérées représentant des faisceaux sous forme de produits scalaires. Typiquement, un faisceau en produits scalaires représente un unique canal de
10 télécommunications.

Les valeurs pondérées sont transmises au réseau de mise sous forme numérique de faisceaux de réception 32 par le module de commande de faisceaux de réception 34. A l'aide d'un algorithme approprié, le module de commande de
15 faisceaux de réception 34 détermine de façon adaptative les poids voulus de chaque élément rayonnant 22. Ceci peut s'effectuer à un rythme relativement lent par rapport au débit général du système d'antenne pour les données. Le dispositif de commande de DBF de réception 36 analyse les signaux entrants et effectue les procédures et traitements discutés ci-après.

Le réseau DBF de réception 32 fournit les signaux numériques reçus de
20 chaque élément rayonnant 22 aux dispositifs de mise en canaux de faisceau 35. Les signaux numériques comportent les informations d'amplitude et de phase (I et Q) venant des éléments rayonnants. Chaque module de mise en canaux de faisceau convertit ces signaux numériques en un train de données numériques relatif à un canal ou un faisceau d'antenne particulier. De préférence, chaque module de mise
25 en canaux de faisceau correspond à un faisceau d'antenne. Les modules de mise en canaux de faisceau 35 fournissent ce train de données numériques aux éléments 38 de commutation de paquets de données, par lesquels les données sont mises en paquets et les paquets sont acheminés de la manière voulue. Dans le mode de réalisation préféré, les paquets de données sont acheminés, sur des antennes pour
30 liaisons croisées 39 à d'autres satellites, sur des liaisons descendantes à des passerelles ou des terminaux terrestres, ou bien sur des liaisons descendantes produites par le satellite à des terminaux de télécommunications. De préférence, l'antenne à groupement 20 produit à la fois des liaisons montantes et des liaisons descendantes en relation avec les terminaux de télécommunications.

35 Des données entrantes, enlevées des paquets, qui viennent des éléments 38 de commutation de paquets de données, sont fournies à des modules

synthétiseurs de faisceau 45. Les éléments de commutation de paquets de données 38 fournissent un train de données numériques, représentant un faisceau d'antenne particulier, à chaque module synthétiseur de faisceau 45. Les signaux numériques entrants comportent de préférence des informations de phase
5 (composantes I et Q) pour chaque faisceau de canal/antenne. Les modules synthétiseurs de faisceau 45 convertissent ce train de données numériques en un signal de sortie numérique, qui représente les formes d'onde analogiques relatives à chaque élément rayonnant d'émission 22. Chaque module synthétiseur de faisceau 45 fournit son signal de sortie numérique à la fois au réseau 40 de mise en forme
10 numérique de faisceaux d'émission et au module 42 de commande de faisceaux d'émission. Le module 42 de commande de faisceaux d'émission fournit des sommes pondérées au réseau 40 de mise en forme numérique de faisceaux d'émission. De préférence, une somme pondérée est prévue de façon qu'elle corresponde avec chacun des éléments rayonnants d'émission 22 de l'antenne à
15 groupement 20.

Les poids sont transmis au réseau 40 de mise en forme numérique de faisceaux par le module de commande de faisceaux d'émission 42. Au moyen d'un algorithme approprié, le module de commande de faisceaux d'émission 42 détermine de façon adaptative les poids appropriés.

20 Les convertisseurs D/A 44 convertissent les signaux de sortie numériques relatifs à chaque élément rayonnant du réseau de mise en forme de faisceaux 40 en des signaux analogiques correspondants relatifs à chaque élément rayonnant 22. Les modules émetteurs 46 produisent des signaux adaptés à l'émission par les éléments rayonnants et, de préférence, analysent les fonctions de
25 changement de fréquence dans le sens de croissance (U/C), de filtrage et d'amplification (PA).

Le système d'antenne à mise en forme numérique de faisceaux qui est représenté sur la figure 1 a des avantages sur les antennes classiques à faisceau fixe, puisqu'elle peut, entre autre choses, séparer des utilisateurs étroitement
30 rapprochés, ajuster de façon adaptative des diagrammes de faisceaux en réponse à des données entrantes, fournir des faisceaux d'antenne à des utilisateurs particuliers, fournir des faisceaux d'antenne en réponse à la demande de services de télécommunications et améliorer la mise à zéro, dans les diagrammes, de signaux RF non voulus. Ces particularités sont mises en oeuvre au moyen d'un logiciel
35 approprié incorporé dans les dispositifs de commande 36 et 48.

La figure 2 est un schéma fonctionnel d'un terminal de télécommunications et d'une antenne à groupement d'éléments rayonnants qui comportent un dispositif de mise en forme numérique de faisceaux selon le mode de réalisation préféré de l'invention. Le terminal de télécommunications 90 peut être un terminal mobile, une station au sol, une station relais ou un terminal de télécommunications tel qu'un téléphone mobile ou cellulaire, et il peut être mobile ou fixe. Le terminal de télécommunications 90 peut également être embarqué à bord d'un aéronef. Le terminal de télécommunications 90 est couplé à une antenne 89 à groupement d'éléments rayonnants. L'antenne 89 est constituée d'une pluralité d'éléments rayonnants, de préférence disposés suivant une configuration matricielle bidimensionnelle. Chaque élément du groupement assure de préférence la réception et, ou bien, l'émission de signaux RF. Du fait des propriétés des antennes, la présente description convient aussi bien à l'émission qu'à la réception.

Le terminal de télécommunications 90 comporte des isolateurs (ou atténuateurs unidirectionnels) 91, qui séparent les signaux reçus et émis en liaison avec l'antenne à groupement 89. Les isolateurs 91 fournissent, à partir des modules d'émission 93, un signal d'émission pour chaque élément du groupement. Les isolateurs 91 fournissent des signaux reçus de chaque élément du groupement à des modules de réception 92. Le terminal terrestre 90 comporte en outre un dispositif 10 de mise en forme numérique de faisceaux (DBF) qui comporte de préférence un réseau 94 de mise en forme numérique de faisceaux d'émission, un réseau 98 de mise en forme numérique de faisceaux de réception, et un dispositif 99 de commande de dispositif de mise en forme numérique de faisceaux. Le réseau 94 de mise en forme numérique de faisceaux d'émission reçoit des coefficients de mise en forme de faisceaux de la part du dispositif 99 de commande de DBF, qui ajustent les composants de phase et d'amplitude des signaux RF émis en chaque élément de rayonnement de l'antenne à groupement 89. Un réseau 98 de mise en forme numérique de faisceaux de réception reçoit des coefficients de mise en forme de faisceaux de la part du dispositif 99 de commande de DBF de façon à fournir les ajustements de phase et d'amplitude des signaux RF reçus en provenance des éléments de l'antenne 89 à groupement d'éléments rayonnants.

Les modules d'émission 93 et les modules d'émission 46 de la figure 1 sont semblables et effectuent des fonctions semblables. Les modules de réception 92 et les modules de réception 26 de la figure 1 sont semblables et effectuent des fonctions semblables. Les modules d'émission 93 convertissent les signaux numériques I et Q reçus de la part du réseau 94 de mise en forme

numérique de faisceaux d'émission en des signaux analogiques, tandis que les modules de réception 92 transforment les signaux analogiques en signaux numériques I et Q et fournissent ces signaux numériques I et Q au réseau 98 de mise en forme numérique de faisceaux de réception. Le réseau 98 de mise en forme numérique de faisceaux de réception fournit un signal numérique de sortie multi-canaux à un dispositif de traitement, ou processeur, de signaux numériques (DSP) 95, qui représente le signal du canal de communications sur lequel le terminal au sol est en train de communiquer. Selon un mode de réalisation de l'invention, le terminal au sol 90 peut communiquer sur plusieurs canaux en même temps. Par conséquent, le réseau 98 de mise en forme numérique de faisceaux de réception fournit un signal relatif à chaque canal de télécommunications au DSP 95.

Dans ce mode de réalisation, le DSP 95 fournit également un signal de canal de télécommunications au réseau de mise en forme numérique de faisceaux d'émission 94 pour chaque canal de télécommunications sur lequel le terminal au sol communique. Dans le cas d'un téléphone cellulaire ou d'un téléphone mobile qui communique sur un seul canal de télécommunications, le DBF de réception fournit un seul canal de télécommunications au DSP 95, tandis que le DSP 95 fournit un seul canal de télécommunications d'émission au réseau 94 de mise en forme numérique de faisceaux d'émission. Il n'y a aucune nécessité pour que les canaux de télécommunications d'émission et de réception soient les mêmes. Le DSP 95, en liaison avec la section d'entrée/sortie (I/O) et en liaison avec un élément de mémorisation 97, réalise toutes les fonctions normalisées associées au fonctionnement des stations au sol pour terminaux mobiles, des terminaux de télécommunications tels que des unités d'abonnés, ou des téléphones cellulaires. Dans une antenne 89 à groupements d'éléments rayonnants de type général, les réseaux 94 et 98 de mise en forme numérique de faisceaux d'émission et de réception et les dispositifs de commande de DBF 99 sont semblables aux éléments respectifs de la figure 1. Le terminal de télécommunications 90 est de préférence configuré pour pouvoir communiquer en mode TDMA (accès multiples temporels), en mode FDMA (accès multiples fréquentiels), ou en mode CDMA (accès multiples par différence de code).

Dans le cas d'une unité d'abonné, il faut moins d'éléments de groupement que dans une antenne à groupement d'éléments rayonnants à déphasage d'un satellite. Par conséquent, les modules DBF de réception et DBF d'émission sont associés à moins d'éléments. Par exemple, dans l'antenne à groupement à

déphasage de satellite de la figure 1, un mode de réalisation préféré de l'invention utilise 64 ensembles de 8 x 8 éléments rayonnants. Ces 4096 éléments rayonnants utilisent de préférence 4096 modules récepteurs 26 et modules émetteurs 46 associés. Par conséquent, sont également utilisés 4096 convertisseurs analogique-
5 numérique (A en D) ou numérique-analogique (D en A), 28 et 44. Chacun des convertisseurs A/D produit de préférence 16 bits de I et 16 bits de Q de données. Le réseau DBF de réception possède 4096 x 16 entrées des convertisseurs A/D. Le nombre de bits de I et de bits de Q peut être supérieur ou inférieur à 16, et le nombre d'éléments rayonnants dépend de plusieurs facteurs, y compris la marge de
10 liaison, le rapport signal-bruit et les caractéristiques des faisceaux d'antenne. Par exemple, dans les applications des unités d'abonnés et des téléphones mobiles et cellulaires, le nombre d'éléments rayonnants peut être compris entre huit et quelques centaines. Alors que, pour des terminaux mobiles et des terminaux au sol qui manipulent un grand nombre de canaux de télécommunications différents à
15 travers de nombreux faisceaux d'antennes différents, le nombre d'éléments rayonnants peut être de plusieurs centaines à plusieurs milliers. Le terminal de télécommunications de la figure 2 communique avec un satellite ou une autre station de télécommunications, ou avec une unité d'abonné ou un terminal de télécommunications via utilisation du dispositif de mise en forme numérique de
20 faisceaux 88.

Le dispositif de mise en forme numérique de faisceaux 88 comporte un réseau 94 de mise en forme numérique de faisceaux d'émission, un réseau 98 de mise en forme numérique de faisceaux de réception et un dispositif 99 de commande de mise en forme numérique de faisceaux. Le dispositif de mise en
25 forme numérique de faisceaux 88 possède des fonctions analogues et contient des éléments matériels analogues à ceux du dispositif de mise en forme numérique de faisceaux 10 de la figure 1.

Grâce à l'utilisation du dispositif 88 de mise en forme numérique de faisceaux incorporé dans l'unité d'abonné ou le terminal de télécommunications 90
30 de la figure 2, le terminal de télécommunications 90 selon un mode de réalisation de l'invention suit les signaux interférants et place un zéro dans son diagramme d'antenne dans la direction du signal interférant. Par exemple, lorsque la station au sol communique avec des satellites géostationnaires, un signal interférant peut provenir d'un satellite en orbite terrestre basse qui traverse le ciel. Le terminal 90
35 suit également, selon un autre mode de réalisation de l'invention, d'autres signaux interférants et permet l'annulation du diagramme d'antenne dans la direction de ces

signaux interférants. Selon un autre mode de réalisation de l'invention, le terminal de télécommunications 90 tente d'améliorer sa réception de signaux entrants en ajustant ses coefficients DBF de réception pour permettre une amélioration des qualités des signaux, comme le rapport signal-bruit ou le rapport porteuse-bruit plus interférences.

Selon un autre mode de réalisation de l'invention, le terminal de télécommunications 90 reçoit un indicateur de qualité de liaison de la part d'une station de télécommunications, d'un satellite ou d'un autre terminal de télécommunications, avec lequel il est en communication. L'indicateur de qualité de liaison (LQI) produit de préférence trois bits de données, qui indiquent la qualité du signal reçu au niveau du récepteur du satellite ou du récepteur de la station de base au sol. Cet indicateur de qualité de liaison est renvoyé au terminal au sol ou à l'unité d'abonné, qui ajuste par conséquent ses coefficients de mise en forme numérique de faisceaux d'émission de façon dynamique pour améliorer la qualité de son signal émis. Dans ce mode de réalisation, le DSP 95 évalue l'indicateur de qualité de liaison et commande au dispositif 99 de commande de DBF d'ajuster les coefficients de mise en forme de faisceaux fournis au réseau 94 de mise en forme numérique de faisceaux d'émission. De façon générale, ceci a pour effet d'optimiser au niveau le plus grand les caractéristiques des faisceaux d'antenne d'émission et de réception pour la situation particulière que l'unité d'abonné ou le terminal de télécommunications est en train de subir. Cette situation comporte des caractéristiques d'interférences provenant d'autres signaux, des caractéristiques d'interférences causées par les conditions de terrain au sol, et les caractéristiques particulières de l'antenne de réception de la station de base réceptrice et, ou bien, du satellite récepteur.

Selon un autre mode de réalisation de l'invention, l'unité d'abonné et, ou bien, le terminal de télécommunications 90 suit le signal de télécommunications qui part de la station de base et du satellite lorsque l'unité d'abonné ou le terminal au sol se déplace. Par exemple, les unités d'abonnés mobiles suivent la direction de la station au sol ou du satellite avec qui elles sont en communication. Ce suivi s'effectue selon l'une de nombreuses manières, faisant intervenir l'utilisation du signal de réception et l'analyse de l'angle ou de la direction d'arrivée du signal reçu. Selon une autre possibilité, lorsque l'unité d'abonné se déplace, les faisceaux d'antenne, de préférence les faisceaux d'émission et ceux de réception, sont ajustés de façon continue pour aider à améliorer la qualité des signaux. Par conséquent, les diagrammes de faisceaux d'antenne résultants sont dirigés vers la

station de télécommunications, tandis que les zéros sont dirigés vers toute source de signaux interférants. Selon un mode de réalisation de l'invention, l'unité d'abonné est destinée à communiquer avec des satellites sur des orbites non géostationnaires, par exemple des satellites placés en orbite terrestre basse. Lorsque le satellite passe "au-dessus de la tête", la caractéristique du faisceau d'antenne, via l'utilisation du dispositif 88 de mise en forme numérique de faisceaux, est ajustée de façon à maintenir une communication améliorée avec le satellite en orbite terrestre basse et, de préférence, elle reste dirigée vers le satellite tandis que le satellite traverse le ciel.

Un exemple de l'unité d'abonné et du groupement d'éléments d'antenne 89 de la figure 2 comporterait des éléments de groupement montés sur le toit d'un véhicule motorisé qui est couplé avec un terminal de télécommunications 90 placé à l'intérieur du véhicule. Dans le cas d'un terminal au sol, les éléments du groupement peuvent être montés sur le toit d'une maison, ou d'un bâtiment, et le terminal au sol peut être placé quelque part ailleurs.

La figure 3 montre un satellite géostationnaire doté d'un dispositif de mise en forme numérique de faisceaux selon un mode de réalisation préféré de l'invention, effectuant un partage de spectre avec un satellite non géostationnaire. La figure 3 montre un scénario typique de partage de spectre, dans lequel l'invention peut être utilisée. Comme représenté, il y a plusieurs trajets en ligne de visée directe entre le satellite géostationnaire (GSO) 62 et le satellite non géostationnaire (NGSO) 60, un terminal au sol 68 pour NGSO, un terminal au sol 66 pour GSO, et une source 64 de signaux interférants. Puisque le satellite NGSO 60 n'est pas fixe dans sa relation positionnelle avec la surface de la terre, le satellite NGSO peut entrer dans le champ de vision à divers moments. Si les deux systèmes de télécommunications occupent un segment commun du spectre de fréquences, des interférences peuvent se produire entre les deux systèmes.

Lorsque le satellite GSO 62 emploie un dispositif de mise en forme numérique de faisceaux selon l'invention, la partie réceptrice du dispositif de mise en forme numérique de faisceaux configure les faisceaux d'antenne du satellite GSO de façon à faire pointer, comme il est souhaitable, son faisceau principal de télécommunications sur le terminal au sol GSO 66, tandis qu'il produit, de préférence, un zéro sur son diagramme d'antenne dans la direction du terminal au sol NGSO 68. Par conséquent, toute interférence venant du terminal au sol NGSO 68 sera notablement réduite. De préférence, un autre zéro du diagramme d'antenne du satellite GSO 62 sera dirigé en direction du satellite NGSO et le

suivra. Pour accomplir cela, on ajuste de façon continue les coefficients de réception et, ou bien, d'émission du DBF de façon à maintenir un zéro dans la direction du satellite NGSO 60 tandis que ce dernier se déplace. Par conséquent, ces zéros sont commandés dynamiquement.

5 Des zéros sont placés dans le diagramme d'antenne en direction du terminal NGSO 68. Le terminal NGSO 68 émet et reçoit ordinairement dans le seul cas où le satellite NGSO est au-dessus de la tête. Par conséquent, le zéro des diagrammes d'antenne d'émission et de réception du satellite GSO 62 peut être mis en oeuvre et supprimé en fonction du terminal NGSO 68. Le positionnement d'un
10 zéro dans les diagrammes d'antenne de réception et d'émission du satellite GSO 62 permet aux deux systèmes de partager le spectre. Dans le mode de réalisation préféré de l'invention, on place des zéros d'émission et de réception dans les mêmes directions. Les informations directionnelles sont de préférence partagées entre le dispositif 36 de commande de DBF de réception et le dispositif 48 de
15 commande de DBF d'émission de la figure 1.

Dans un mode de réalisation préféré, la direction dans laquelle on place le zéro d'antenne est déterminée à l'aide de la direction des informations d'arrivée provenant du signal interférant. Le dispositif DBF du satellite GSO 62 surveille son champ de vision en liaison avec deux classes de signaux, de préférence, à
20 savoir les signaux synergiques et les signaux non synergiques. Les signaux synergiques sont des signaux dont les caractéristiques sont bien connues. De préférence, ces signaux interférants synergiques sont démodulés dans le satellite GSO 62 au niveau de la bande de base et, par conséquent, les coefficients de mise en forme numérique de faisceaux d'émission et de réception sont ajustés pour
25 réduire et aider à minimiser la réception de ces signaux interférants. Dans le cas de signaux non synergiques, c'est-à-dire de signaux qui sont inconnus, on utilise des techniques de direction de base d'arrivée pour réduire les interférences provenant de ces signaux.

Le dispositif de mise en forme numérique de faisceaux selon
30 l'invention peut également être employé sur le satellite NGSO 60, et il produira des zéros dans la direction du terminal GSO 66 et de la source 64 de signaux interférants.

Un avantage de l'invention est que le partage spectral se trouve amélioré pour une densité accrue de satellites géostationnaires. Par exemple, grâce
35 à l'utilisation du dispositif de mise en forme numérique de faisceaux décrit sur la figure 1, des satellites géostationnaires peuvent être placés dans des tranches

orbitales qui sont séparées de moins de 2° . Par exemple, lorsqu'un terminal de télécommunications est en train de communiquer avec le satellite géostationnaire qui lui a été affecté, chacun des satellites géostationnaires diffuse des informations relatives aux canaux d'acquisition. L'antenne du terminal de télécommunications

5 reçoit ces informations de la part de chacun des satellites se trouvant en ligne de vision directe. Lorsque les canaux d'acquisition sont séparables d'une certaine manière, par exemple en fréquence, le terminal au sol reçoit de préférence chaque canal d'acquisition et détermine la direction d'arrivée de chacun des signaux d'acquisition. Le dispositif de mise en forme numérique de faisceaux, lorsqu'il est

10 employé dans un terminal au sol de satellite géostationnaire, ajuste de préférence ces caractéristiques de faisceaux d'antenne d'émission et de réception de façon à pointer ses faisceaux d'antenne principaux sur le satellite géostationnaire voulu tout en dirigeant un zéro dans la direction des autres satellites géostationnaires. La direction d'arrivée peut être déterminée par exemple à l'aide des informations

15 associées à l'emplacement du terminal de télécommunications, entre autres choses.

Des techniques de "super-résolution" permettent une résolution spatiale de semblables signaux, séparés d'environ $1/10$ d'une largeur de faisceau d'antenne. Pour maintenir cette séparation fine, des valeurs élevées pour le rapport signal-bruit sont souhaitables. Par conséquent, une station au sol ayant une

20 quantité appropriée d'éléments de groupement 22 (figure 1) fournit un rapport signal-bruit acceptable et des caractéristiques appropriées pour le gain du faisceau d'antenne.

Selon un autre mode de réalisation de l'invention, le dispositif de mise en forme numérique de faisceaux, qui est incorporé à bord d'un satellite géostationnaire, maintient l'alignement d'antenne. Par exemple, des satellites GSO dérivent lentement sur leurs positions orbitales. Typiquement, un dispositif embarqué de maintien de station est nécessaire pour maintenir la position des satellites. Lorsqu'un satellite GSO dérive, ses faisceaux d'antenne s'écartent de la direction qu'ils devaient viser et diverses techniques d'alignement s'appuyant sur la

30 transmission de tonalités de fréquence depuis l'installation de commande du système sont typiquement utilisées pour réaligner la direction de pointage des antennes des satellites. Des systèmes d'antennes de satellites GSO qui s'appuient sur des antennes du type à réflecteur ou à lentille corrigent ces déplacements par un déplacement matériel des antennes ou des sources primaires des antennes. Cette

35 technique exige que les composants des antennes soient montés sur des structures mobiles. Le dispositif de mise en forme numérique de faisceaux selon l'invention

élimine le besoin de semblables structures mécaniques. Le dispositif de mise en forme numérique de faisceaux corrige la direction de pointage du faisceau lorsque le satellite géostationnaire dérive. Cette correction s'appuie de préférence sur l'utilisation de niveaux de qualité de signal émis ou reçus.

5 La figure 4 représente un satellite qui produit des faisceaux d'antenne distincts à l'aide d'un dispositif de mise en forme numérique de faisceaux selon l'invention. Le satellite 50 peut être un satellite géostationnaire ou un satellite non géostationnaire. Le satellite 50 possède une région d'empreinte qui lui est associée, cette région étant la région géographique à laquelle le satellite 50 fournit des
10 services de télécommunications. Le satellite 50 peut couvrir la région d'empreinte 53 à l'aide d'un unique faisceau d'antenne en ce qui concerne les signaux venant depuis l'intérieur de la région d'empreinte, y compris le contrôle de la demande de services de télécommunications, le contrôle des interférences et le contrôle des services de demande d'unités d'abonnés. Le satellite 50 peut aussi
15 produire une pluralité de faisceaux d'antenne distincts 52 à l'intérieur de la région d'empreinte 53. Un dispositif de mise en forme numérique de faisceaux selon l'invention est configuré de façon à produire ces faisceaux d'antenne. Des faisceaux d'antenne distincts 52 sont produits de diverses manières et sont de préférence fournis à une unité d'abonné particulière. Des faisceaux d'antenne particuliers 52
20 sont également produits en réponse à la demande de services de télécommunications. Les faisceaux d'antenne distincts 52 suivent le déplacement d'une unité d'abonné dans la région d'empreinte 53. Ceci est décrit de manière plus détaillée dans les procédures qui vont suivre.

La figure 5 illustre la projection de faisceaux d'antenne sur une partie
25 de la surface de la Terre au moyen d'un dispositif de mise en forme numérique de faisceaux selon un mode de réalisation préféré de l'invention. Dans ce mode de réalisation préféré, les faisceaux d'antenne sont produits en réponse à la demande de services de télécommunications. Dans n'importe quel système de satellites, la capacité de la station à s'adapter à la demande de trafic est une particularité très
30 souhaitable. Le dispositif 10 de mise en forme numérique de faisceaux de la figure 1 permet le positionnement de zéros dans le diagramme d'un faisceau d'antenne et permet que la conformation des faisceaux et d'autres caractéristiques des faisceaux soit modifiée dynamiquement grâce à l'utilisation de ces techniques de mise en forme numérique de faisceaux. Dans un mode de réalisation préféré de l'invention,
35 le dispositif de mise en forme numérique de faisceaux 10 produit des diagrammes d'antenne dynamiquement reconfigurables, comme cela est représenté sur la figure

5. Ces diagrammes de faisceaux d'antenne, présentés à titre d'exemple, s'appuient sur les niveaux de demande de trafic courants. Par exemple, le faisceau d'antenne 74 assure une couverture large d'une grande région ayant une faible demande de services de télécommunications, tandis que les faisceaux d'antenne 80 sont petits et fournissent une concentration élevée en capacité de télécommunications dans une région qui possède une forte demande de services de télécommunications.

Dans un autre mode de réalisation, les faisceaux d'antenne sont conformés en réponse à la demande de services de télécommunications. Les faisceaux d'antenne 74 sont modifiés et conformés par exemple pour approcher le contour d'une région géographique ayant une forte demande de services de télécommunications au voisinage d'une aire n'ayant pratiquement pas de demande de services de télécommunications, par exemple l'océan. Par conséquent, la capacité de communications peut être concentrée là où elle est nécessaire. Dans le mode de réalisation préféré, le faisceau d'antenne 70 est dynamiquement configuré en temps réel en réponse à des demandes de services de télécommunications. Toutefois, dans d'autres modes de réalisation de l'invention, des faisceaux d'antenne sont produits sur la base d'un programme horaire et de la mesure de la demande de services de télécommunications.

Les figures 6 et 7 sont des organigrammes qui montrent une procédure de réduction des interférences et d'attribution des faisceaux d'antenne selon le mode de réalisation préféré de l'invention. Alors que la procédure 100 est représentée sous la forme d'une succession d'événements présentés linéairement du haut vers le bas, cette procédure vise à illustrer les opérations effectuées par le dispositif de mise en forme numérique de faisceaux 10 de la figure 1. De nombreuses tâches et étapes présentées sont de préférence effectuées en parallèle, et la procédure 100 s'exécute de manière souhaitable pour de nombreuses unités d'abonnés et signaux interférants en même temps. L'homme de l'art est évidemment en mesure d'écrire les logiciels qui permettraient au dispositif de commande de DBF de réception 36 et au dispositif de commande DBF d'émission 48 d'exécuter les tâches de la procédure 100. De préférence, la procédure 100 est effectuée par le dispositif de commande de DBF de réception 36 et le dispositif de commande de DBF d'émission 48 en liaison avec les modules de commande de faisceaux 34 et 42. Un logiciel est incorporé dans le dispositif 36 de commande de DBF de réception, le dispositif 48 de commande de DBF d'émission, et le module de commande de faisceau 34 de façon à effectuer les fonctions présentement décrites. Des parties de la procédure 100 peuvent également être effectuées concurremment au moyen

d'autres processeurs sur d'autres satellites ou d'autres stations au sol, en relation avec la partie du satellite représentée sur la figure 1. Alors que la procédure 100 est décrite en liaison avec la communication entre un satellite et une unité d'abonné basée au sol, la procédure 100 peut être appliquée à une station de télécommu-
5 nications quelconque, y compris des stations relais et des terminaux de télécom-
munications.

Dans la tâche 102, la station de télécommunications écoute les signaux, de préférence à l'intérieur de l'empreinte du satellite. De préférence, le module de commande de faisceaux de réception 34 configure les faisceaux
10 d'antenne de façon à produire un unique faisceau d'antenne large qui couvre sensi-
blement une empreinte de satellite toute entière. Par conséquent, des signaux sont
reçus depuis n'importe où à l'intérieur de cette empreinte sur ce faisceau d'antenne.
Des signaux qui ont été reçus peuvent comporter des signaux venant d'utilisateurs
existants qui sont déjà en train de communiquer avec le système de satellites, de
15 signaux d'interférence, par exemple des signaux venant de non-utilisateurs du
système, y compris des signaux d'interférences, et les signaux venant d'utilisateurs
du système qui demandent à accéder au système.

La tâche 104 détermine si le signal est ou non un signal venant d'un utilisateur existant. De façon générale, la position d'utilisateurs existants est
20 connue. Si le signal reçu ne vient pas d'un utilisateur existant, la tâche 106
détermine la position de la source de ce signal. L'homme de l'art comprendra que
divers moyens peuvent être utilisés pour déterminer la position géographique d'une
source de signal. Ces moyens peuvent comprendre l'analyse de l'angle d'arrivée, du
temps d'arrivée, de la fréquence d'arrivée, etc. Selon une autre possibilité, si la
25 source de signal est un utilisateur demandant l'accès au système, cette unité
d'abonné peut fournir ses coordonnées géographiques dans son signal de demande
d'accès au système.

Lorsque la position de la source de signal a été déterminée, la tâche 110 détermine si le signal est ou non un signal d'interférence. En d'autres
30 termes, la tâche 110 détermine si la source de signal va interférer avec une partie
du spectre attribué au système de satellites, ou bien, sinon, si le signal interférant
est un canal de télécommunications qui est concurremment en utilisation avec une
unité d'abonné communiquant avec le satellite. Si la tâche 110 détermine que la
source de signal n'est pas un signal d'interférence et que la source de signal est une
35 demande d'un nouveau canal, la tâche 112 attribue un faisceau d'antenne à cet
utilisateur. La tâche 112 peut employer diverses procédures de sécurité et de

demande d'accès, qui ne sont pas nécessairement importantes pour l'invention. Dans le mode de réalisation préféré, la tâche 112 est effectuée via les dispositifs 36 et 48 de commande de DBF de réception et d'émission, qui fournissent les informations appropriées aux modules de commande de faisceaux 34 et 42.

5 Les modules de commande de faisceaux 34 et 42 font que les réseaux DBF de réception et d'émission 32 et 40 produisent des faisceaux d'antenne de réception et d'émission distincts qui sont dirigés sur cette unité d'abonné, à l'emplacement géographique de cette unité d'abonné. Des tâches 114 et 116 ajustent, de préférence à répétition, les coefficients d'émission et de réception DBF
10 afin d'aider à obtenir une qualité de signal améliorée en provenance de l'unité d'abonné.

Dans un mode de réalisation préféré de l'invention, l'unité d'abonné fournit un indicateur de qualité de liaison (LQI), qui indique la qualité du signal reçu. L'unité d'abonné fournit cet indicateur de qualité de liaison au satellite.
15 L'indicateur de qualité de liaison est évalué par le dispositif 36 de commande de DBF de réception et le dispositif 48 de commande de DBF d'émission, de façon à faire que le module de commande de faisceaux d'émission 42 ajuste les coefficients de commande de DBF afin d'aider à optimiser le faisceau d'antenne d'émission visant l'unité d'abonné.

20 Lorsque la tâche 110 détermine que la source de signal est un signal d'interférence, par exemple un non-utilisateur du système, des tâches 118 et 120 calculent et ajustent les coefficients DBF de réception fournis au réseau DBF de réception 32 afin d'aider à réduire ou minimiser les interférences émanant de ce signal d'interférence. Selon un mode de réalisation de l'invention, la tâche 118
25 place un "zéro" dans le diagramme d'antenne, dans la direction du signal interférant. Dans le mode de réalisation préféré, les tâches 118 et 120 sont répétées jusqu'à ce que l'interférence se trouve en deçà d'un niveau prédéterminé. Dans la tâche 122, le signal interférant est surveillé de façon continue et est suivi tandis que le satellite se déplace ou que le signal d'interférence se déplace.

30 Lorsque la tâche 104 a déterminé que la source de signal est un utilisateur existant, la tâche 124 détermine lorsqu'un transfert est nécessaire. Dans certains modes de réalisation, l'unité d'abonné demande des transferts tandis que, dans d'autres modes de réalisation, c'est le système qui détermine lorsqu'un transfert est nécessaire. De préférence, les transferts sont déterminés sur la base de
35 la qualité de signal. De façon générale, un transfert est demandé lorsqu'un

utilisateur se trouve près du bord de la région d'empreinte du diagramme d'antenne ou d'une zone d'exclusion.

Selon un mode de réalisation préféré de l'invention, des faisceaux d'antenne sont fournis distinctement à l'unité d'abonné, et le faisceau d'antenne distinct suit la position de l'unité d'abonné. Par conséquent, des transferts ne se font qu'entre satellites et ne sont nécessaires qu'au niveau du bord de l'empreinte du satellite. Lorsqu'un transfert est nécessaire, la tâche 112 est exécutée, laquelle affecte un nouveau faisceau d'antenne, venant d'un autre satellite, à l'utilisateur. Lorsqu'un transfert n'est pas demandé, la tâche 128 est exécutée. Au cours de la tâche 128, les interférences internes à la bande sont contrôlées en même temps que le niveau de puissance reçu et la mesure de la qualité de liaison.

Au cours de la tâche 132, les coefficients DBF de réception et d'émission sont ajustés pour aider à maintenir une qualité de signal améliorée, ou maximale, afin d'aider à réduire ou minimiser les interférences internes à la bande et d'aider à maximiser le niveau de puissance de réception. Pendant ce mode de "poursuite", des signaux interférants supplémentaires 130 peuvent provoquer une dégradation de la qualité du signal. Par conséquent, la tâche 132 réajuste dynamiquement les coefficients DBF afin d'aider à maintenir la qualité du signal. Dans un mode de réalisation de l'invention, des indicateurs de qualité de liaison 131 sont produits par des terminaux de télécommunication ou des unités d'abonnés. Par conséquent, la combinaison des tâches 128 à 132 permet une "poursuite" de l'unité d'abonné lorsque la position relative de l'unité d'abonné et du satellite change. La tâche 134 détermine lorsqu'un transfert est nécessaire. Si aucun transfert n'est demandé, l'unité d'abonné reste dans le mode de poursuite. Lorsque le transfert est demandé, la tâche 136 exécute un transfert à destination du satellite suivant. Selon un mode de réalisation de l'invention, le satellite suivant se voit averti qu'un transfert est demandé et il lui est fourni la position géographique de l'unité d'abonné. Par conséquent, le satellite suivant peut attribuer et produire un faisceau d'antenne de manière spéciale pour cette unité d'abonné avant que cette dernière ne soit abandonnée par son satellite courant. Dès que l'unité d'abonné a été transférée au satellite suivant, la tâche 138 ajoute le faisceau d'antenne disponible à sa réserve, ce qui permet au faisceau d'antenne d'être disponible en vue d'être attribué à une autre unité d'abonné.

La figure 8 est un organigramme montrant une procédure qui permet de fournir des faisceaux d'antenne à des régions géographiques en réponse à une demande de services de télécommunications. Même si la procédure est représentée

comme une succession d'instructions allant du haut vers le bas, elle est censée illustrer les opérations effectuées par le dispositif de mise en forme numérique de faisceaux 10 de la figure 1. Un grand nombre des tâches et opérations représentées sont de préférence effectuées en parallèle, et la procédure 200 s'effectue, de manière souhaitable, pour de nombreuses unités d'abonnés en même temps. L'homme de l'art sera en mesure de décrire le logiciel destiné aux dispositifs 36 et 48 de commande de DBF de réception et d'émission, permettant d'exécuter les tâches de la procédure 200. Les tâches de la procédure 200 sont de préférence effectuées en continu par les dispositifs de commande de DBF de réception et d'émission 36 et 48. Alors que la procédure 200 est décrite dans le cas de la communication entre un satellite et une unité d'abonné basée au sol, la procédure 200 est applicable à n'importe quelle station de télécommunications, y compris les stations relais et les terminaux de télécommunications.

Au cours de la tâche 202, la demande de services de télécommunications est contrôlée à l'intérieur de la région d'empreinte du satellite. Dans le mode de réalisation préféré, un faisceau d'antenne est utilisé pour contrôler la demande dans toute l'empreinte. Au cours de la tâche 204, sont déterminées les positions des régions géographiques à forte demande et des régions géographiques à faible demande. La tâche 204 peut être effectuée suivant l'une quelconque de nombreuses manières. Par exemple, chaque unité d'abonné communiquant avec le système possède une position géographique qui lui est associée. De plus, chaque unité d'abonné demandant accès au système peut fournir au système des données concernant sa position géographique. Dès que les positions géographiques des zones à forte demande et des zones à faible demande ont été déterminées, la tâche 206 fait en sorte que les modules de commande de faisceaux DBF fournissent moins de faisceaux d'antenne dans les zones à faible demande et fournissent plus de faisceaux d'antenne dans les zones à forte demande. Selon un mode de réalisation de l'invention, chaque faisceau d'antenne fournit une quantité limitée de capacité de télécommunications.

On se reporte à la figure 5. Les zones à plus faible demande sont dotées de faisceaux d'antenne ayant une région de desserte beaucoup plus grande que les faisceaux d'antenne qui sont prévus pour les zones à forte demande. Par exemple, le faisceau d'antenne 74 de la figure 5 couvre une large région géographique qui, concurremment, possède une faible demande de services de télécommunications. Selon une autre possibilité, des faisceaux d'antenne 80 ont des régions de desserte géographiques beaucoup plus petites et fournissent plus de capacité de télécom-

munications pour une région qui, concurremment, a une forte demande de services de télécommunications. Selon un autre mode de réalisation de l'invention, les tâches 206 et 208 ajustent les formes des faisceaux d'antenne sur la base de la demande de services de télécommunications. Par exemple, en référence avec la figure 5, les faisceaux d'antenne 74 sont des faisceaux étroits allongés qui sont formés de façon à assurer une meilleure zone de desserte pour les services de télécommunications. Par exemple, les régions côtières sont dotées de faisceaux étroits de manière à réduire la capacité de télécommunications au-dessus de l'océan, là où une capacité de télécommunications fortement amoindrie est nécessaire. Dans ce mode de réalisation, les faisceaux d'antenne 74 sont de préférence formés dynamiquement en réponse à la demande de services de télécommunications.

Lorsque la demande en services de télécommunications varie, les faisceaux d'antenne 70 sont dynamiquement fournis, en réponse. Par exemple, la figure 5 montre une vue continentale des services de télécommunications des Etats-Unis d'Amérique. Au fur et à mesure que le jour avance, les faisceaux d'antenne se déplacent dans le pays en fonction de l'heure, en réponse à la demande de services de télécommunications. Dans le cas d'une catastrophe naturelle, où la demande de services de télécommunications serait particulièrement importante, on peut prévoir des faisceaux d'antenne spécialisés. Un dispositif de commande du satellite peut donner des instructions au dispositif de mise sous forme numérique des faisceaux du satellite afin d'attribuer des faisceaux en conséquence. D'une manière générale, les faisceaux d'antenne 70 sont de préférence fournis en réponse avec le changement de la demande de services de télécommunications, sans l'assistance d'opérateurs.

La figure 9 est un schéma fonctionnel montrant le dispositif numérique de mise en forme de faisceaux selon un mode de réalisation de l'invention. Le dispositif de mise en forme de faisceaux comporte une pluralité d'unités de calcul (CU) 160 à 176 et une pluralité de processeurs d'addition 180 à 184. Les unités de calcul 160 à 176 forment une matrice de processeurs. Chaque colonne de la matrice de processeurs reçoit un signal numérique correspondant. A la réception d'un signal numérique, chaque unité de calcul pondère indépendamment le signal afin de produire un signal pondéré. Les processeurs d'addition 180 à 184 fournissent un moyen permettant d'additionner des signaux pondérés produits par une rangée respective de façon à fournir des signaux de sortie. Pour l'essentiel, chaque signal de sortie représente une somme pondérée. L'architecture du

dispositif numérique de formation de faisceaux se prête par elle-même au calcul rapide, en parallèle, de transformées discrètes de Fourier.

La figure 10 est un schéma fonctionnel représentant un premier mode de réalisation d'une unité de calcul pouvant être utilisée dans le dispositif numérique de mise en forme de faisceaux de la figure 9. L'unité de calcul comporte un multiplicateur 190 et un circuit de mémoire 192. L'unité de calcul pondère un signal numérique entrant en le multipliant par une valeur de poids précalculée qui est stockée dans le circuit de mémoire 192. Le signal de sortie du multiplicateur 190 représente le signal pondéré.

Le circuit de mémoire 192 peut être un moyen quelconque permettant de stocker des valeurs dont la teneur est mise à jour par les modules de commande de faisceaux numériques 34, 42 (figure 1) par exemple une ROM (mémoire morte), une EEPROM (mémoire morte programmable électriquement effaçable), une DRAM (mémoire vive dynamique), ou une SRAM (mémoire vive statique).

La figure 11 est un schéma fonctionnel représentant un deuxième mode de réalisation d'une unité de calcul pouvant être utilisée dans le dispositif numérique de mise en forme de faisceaux de la figure 9. Dans le mode de réalisation de l'unité de calcul, un signal entrant est pondéré à l'aide d'un circuit arithmétique LNS (système numérique logarithmique). Un circuit arithmétique LNS est avantageux, car des opérations de multiplication peuvent être réalisées à l'aide d'additionneurs au lieu de multiplicateurs. Les circuits d'addition numériques tendent à être beaucoup plus petits que les circuits multiplicateurs comparables, si bien qu'on peut réduire la taille du réseau de processeurs de mise en forme de faisceaux en y incorporant des unités de calcul du type LNS.

L'unité de calcul de type LNS comporte un convertisseur logarithmique 210, un additionneur 212, un circuit de mémoire 214 et un convertisseur logarithmique inverse (\log^{-1}) 216. Un signal entrant est d'abord converti en sa valeur logarithmique par le convertisseur logarithmique 210. L'additionneur 212 ajoute alors au signal logarithmique une valeur de pondération logarithmique provenant du circuit de mémoire 214, de façon à en faire la somme. La somme est ensuite convertie en le signal pondéré par le convertisseur logarithmique inverse 216.

La figure 12 est un schéma fonctionnel représentant un troisième mode de réalisation d'une unité de calcul pouvant être utilisée dans le dispositif numérique de mise en forme de faisceaux de la figure 9. Ce mode de réalisation de l'unité de calcul est destiné à pondérer des signaux complexes. Dans la plupart des

applications, les composantes I et Q des signaux numériques complexes sont représentées par une paire de mots à 3 bits. Bien qu'une telle limitation à des mots de petite longueur ne soit pas obligatoire, l'unité de calcul de la figure 12 est avantageuse dans ce type d'application, car elle demande moins de puissance et de place lorsqu'elle est mise en oeuvre à l'aide d'un circuit intégré.

L'unité de calcul comporte un premier commutateur 220, un premier circuit de mémoire 222, un deuxième commutateur 224, un deuxième circuit de mémoire 226, un soustracteur 228 et un additionneur 221. La première mémoire 222 stocke des premières valeurs précalculées, qui sont basées sur un poids imaginaire. La deuxième mémoire 226 stocke des deuxièmes valeurs précalculées qui sont basées sur un poids réel. La fonction de l'unité de calcul est de multiplier ces deux nombres complexes. La première mémoire 222 stocke les valeurs I et Q précalculées qui sont relatives au poids imaginaire, tandis que la deuxième mémoire 226 stocke les valeurs précalculées I et Q pour le poids réel. Il sera évident à l'homme de l'art que le fait d'utiliser des mots de 3 bits pour représenter les composants et les poids complexes demande que chaque mémoire puisse stocker huit mots de 6 bits.

Le premier commutateur 220 constitue un moyen permettant d'adresser le premier circuit de mémoire en utilisant la composante I ou la composante Q pour sélectionner l'une des premières valeurs précalculées au titre du signal de sortie du premier circuit de mémoire. Le deuxième commutateur 224 constitue un moyen permettant d'adresser la deuxième mémoire 226 en utilisant la composante I ou la composante Q pour sélectionner l'une des deuxièmes valeurs précalculées au titre du signal de sortie du deuxième circuit de mémoire.

Le soustracteur 228 soustrait, du signal de sortie de la deuxième mémoire, le signal de sortie de la première mémoire afin de produire la composante en phase pondérée qui est ensuite incluse dans le signal pondéré. L'additionneur 221 ajoute le signal de sortie de la première mémoire et le signal de sortie de la deuxième mémoire pour produire la composante en quadrature pondérée qui est également incluse dans le signal pondéré.

Dans un mode de réalisation de l'unité de calcul, le soustracteur 228 comporte un additionneur pouvant ajouter des nombres compléments à 2. Les valeurs précalculées sont ou bien stockées dans la mémoire au titre de valeurs compléments à 2, ou bien un circuit logique supplémentaire est placé dans l'unité de calcul pour convertir les valeurs précalculées en leurs compléments à 2 respectifs.

De préférence, le soustracteur 228 comporte un additionneur possédant une entrée de report fixée à 1 et des inverseurs pour former la valeur de complément à 1 de la sortie de la deuxième mémoire. L'additionneur utilise effectivement la valeur complément à 2 du signal de sortie de la deuxième
5 mémoire en ajoutant le signal d'entrée de report et la valeur complément à 1.

La figure 13 est un schéma fonctionnel représentant un premier mode de réalisation d'un processeur d'addition que l'on peut utiliser dans le dispositif numérique de mise en forme de faisceaux de la figure 9. Ce mode de réalisation particulier de l'invention comprend un additionneur en arbre 230. L'additionneur
10 en arbre 230 comporte des additionneurs qui sont connectés ensemble de manière à permettre que trois signaux d'entrée, ou plus, soient additionnés en même temps. Lorsqu'on utilise la topologie d'addition en arbre qui est présentée sur la figure 13, il faut N-1 additionneurs pour ajouter N signaux d'entrée. Si l'on considère l'exemple représenté sur la figure 13, huit signaux d'entrée peuvent être reçus en
15 même temps, de sorte que sept additionneurs sont nécessaires dans l'additionneur en arbre 230. Si l'on souhaite additionner un plus grand nombre de signaux d'entrée, il faut plus d'additionneurs. Par exemple, pour additionner 128 signaux d'entrée, l'additionneur en arbre doit avoir 127 additionneurs. L'additionneur en arbre 230 a pour avantage de présenter un retard moindre pour la production des
20 sommes de sortie.

La figure 14 est un schéma fonctionnel représentant un deuxième mode de réalisation d'un processeur d'addition qui peut être utilisé dans le dispositif numérique de mise en forme de faisceaux de la figure 9. Cette forme de réalisation de processeur d'addition comporte une pluralité d'additionneurs 240 à 248, une
25 pluralité de circuits retardateurs 250 à 254, et un additionneur en cascade 256. Alors que des processeurs d'addition ayant cette topologie peuvent demander plus de temps pour produire une somme finale qu'un additionneur en arbre comparable, ils occupent moins de place lorsqu'ils sont mis en oeuvre sous la forme d'un circuit intégré.

30 Chacun des additionneurs 240 à 248 additionne des signaux pondérés venant d'un groupe d'unités de calcul résidant dans la même rangée de façon à produire un signal d'addition pondéré. Un additionneur peut comporter tout moyen permettant d'additionner des signaux pondérés, par exemple un additionneur en arbre ou un accumulateur qui additionne séquentiellement des signaux d'entrée.

35 Les circuits retardateurs 250 à 254 produisent des signaux retardés en mettant en tampon les signaux d'addition pondérés pendant un temps

prédéterminé. De façon générale, les signaux pondérés sont produits approximativement en même temps que les sorties des additionneurs. Pour additionner de manière correcte les signaux pondérés, il est nécessaire de retarder les signaux pondérés qui ont été produits dans la partie aval d'une rangée de processeurs. Le retard est fonction de l'emplacement du groupe d'unités de calcul à l'intérieur des colonnes de processeurs.

L'additionneur en cascade 256 comporte deux ou plus de deux additionneurs 258 à 264, qui sont disposés en cascade de façon à additionner les signaux retardés et les deux premières sommes pondérées. Le signal de sortie de l'additionneur en cascade 256 représente la somme totale de tous les signaux pondérés dans une rangée de processeurs donnée.

La figure 15 est un schéma fonctionnel d'un dispositif numérique de mise en forme de faisceaux selon un deuxième mode de réalisation de l'invention. Ce mode de réalisation du dispositif de mise en forme de faisceaux comporte un convertisseur logarithmique 270, une pluralité d'unités de calcul 272 à 288, un convertisseur logarithmique inverse 290 et une pluralité de processeurs d'addition 292 à 296. Les unités de calcul 272 à 288 forment une matrice de processeurs. Les signaux numériques entrants sont d'abord convertis en signaux logarithmiques par le convertisseur logarithmique 270. Chaque colonne de la matrice de processeurs reçoit un signal logarithmique correspondant. A la réception d'un signal logarithmique, chaque unité de calcul pondère indépendamment le signal afin de produire un signal d'addition. Les signaux d'addition sont ensuite convertis en signaux pondérés par le convertisseur logarithmique inverse 290. Pour chaque rangée de processeurs, les signaux pondérés sont respectivement additionnés par l'un des processeurs d'addition 292 et 296 afin de produire un signal de sortie.

Alors que l'approche est décrite dans le domaine IQ, des techniques analogues sont également applicables au domaine polaire.

Bien entendu, l'homme de l'art sera en mesure d'imaginer, à partir des dispositifs et des procédés dont la description vient d'être donnée à titre simplement illustratif et nullement limitatif, diverses variantes et modifications ne sortant pas du cadre de l'invention.

REVENDEICATIONS

1. Procédé permettant de communiquer avec des stations de télécom-
munications à l'aide d'une antenne à groupement d'éléments rayonnants destinée à
5 fonctionner avec un dispositif numérique de mise en forme de faisceaux, ladite
antenne à groupement d'éléments rayonnants ayant une pluralité d'éléments
rayonnants afin de produire des faisceaux d'antenne orientables à l'intérieur d'une
région d'empreinte, ledit dispositif numérique de mise en forme de faisceaux, ou
DBF, produisant, pour chaque élément rayonnant, des coefficients qui permettent
10 de commander les caractéristiques desdits faisceaux d'antenne orientables, ledit
procédé étant caractérisé par les opérations suivantes :

déterminer des parties géographiques de ladite région d'empreinte, qui
ont une plus forte demande en services de télécommunications ;

déterminer des parties géographiques de ladite région de l'empreinte
15 qui ont une plus faible demande en services de télécommunications ; et

ajuster lesdits coefficients afin de fournir un plus grand nombre de
faisceaux d'antenne auxdites parties géographiques ayant ladite plus forte demande
en services de télécommunications qu'auxdites parties géographiques ayant ladite
plus faible demande en services de télécommunications.

20 2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que les opérations
de détermination comprennent l'opération consistant à contrôler la demande en
temps réel de services de télécommunications dans différentes parties géogra-
phiques de ladite région d'empreinte, et en ce qu'il comprend en outre les
opérations suivantes :

25 répéter l'opération de contrôle, les opérations de détermination et
l'opération d'ajustement lorsque ladite demande en temps réel de services de télé-
communications varie ;

réajuster lesdits coefficients afin de fournir des faisceaux d'antenne
supplémentaires à des régions géographiques en réponse à une augmentation de
30 ladite demande en temps réel de services de télécommunications ; et

réajuster lesdits coefficients afin de supprimer des faisceaux d'antenne
dans des parties géographiques en réponse à une diminution de ladite demande en
temps réel de services de télécommunications.

35 3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'il comprend en
outre les opérations suivantes :

réajuster lesdits coefficients afin de fournir des faisceaux d'antenne ayant de petites régions de couverture auxdites parties géographiques qui ont ladite plus forte demande de services de télécommunications ; et

5 réajuster lesdits coefficients afin de fournir des faisceaux d'antenne ayant de grandes régions de couverture auxdites parties qui ont ladite plus faible demande de services de télécommunications.

4. Dispositif numérique de mise en forme de faisceaux (DBF) servant à fournir des signaux numériques à une antenne à groupement d'éléments rayonnants, ledit DBF étant caractérisé par :

10 un dispositif de commande (36, 48) servant à déterminer des parties géographiques qui ont une demande plus forte en services de télécommunications ;

un module de réseau d'émission (40) servant à convertir des signaux numériques de faisceaux d'antenne d'émission en signaux numériques d'émission I et Q sur la base de coefficients ; et

15 un module de commande de faisceaux (34, 42) servant à fournir des coefficients audit module de réseau d'émission, et

en ce que ledit dispositif de commande fait que ledit module de commande de faisceaux produit un plus grand nombre de faisceaux d'antenne orientables à l'intérieur desdites parties géographiques qui ont une plus forte
20 demande en services de télécommunications et un moins grand nombre de faisceaux d'antenne orientables dans ladite région géographique qui ont une plus faible demande en services de télécommunications, par ajustement desdits coefficients.

5. Station de télécommunications, caractérisée par :

25 un dispositif numérique de mise en forme de faisceaux, ou (DBF), (10) servant à fournir des signaux à une antenne à groupement d'éléments rayonnants qui possède une pluralité d'éléments rayonnants produisant des faisceaux d'antenne orientables, ledit DBF produisant, pour chaque élément rayonnant, des coefficients qui servent à commander les caractéristiques desdits faisceaux d'antenne
30 orientables ;

des modules récepteurs (26, 28) servant à convertir des signaux reçus de la part de chacun desdits éléments rayonnants en signaux numériques de réception I et Q, et à fournir lesdits signaux numériques de réception I et Q audit DBF ; et

des modules émetteurs (44, 46) servant à convertir des signaux numériques d'émission I et Q, produits par ledit DBF, en signaux destinés à chacun des éléments rayonnants,

et caractérisé en ce que ledit DBF comprend :

5 un dispositif de commande (36, 48) servant à déterminer des parties géographiques à l'intérieur d'une région d'empreinte qui possèdent une plus forte demande en services de télécommunications, et à déterminer des parties géographiques de ladite région d'empreinte qui possèdent une plus faible demande en services de télécommunications ;

10 des modules de commande de faisceaux (34, 42) servant à ajuster lesdits coefficients afin de fournir un plus grand nombre desdits faisceaux d'antenne orientables à l'intérieur desdites parties géographiques qui ont ladite plus forte demande en services de télécommunications et un moins grand nombre de faisceaux d'antenne orientables dans lesdites parties géographiques qui ont ladite plus faible demande en services de télécommunications ;

15 un module de réseau de réception (32) qui utilise lesdits coefficients pour convertir lesdits signaux numériques de réception I et Q en signaux numériques de faisceaux d'antenne, chaque signal numérique de faisceau d'antenne représentant un faisceau d'antenne orientable ; et

20 un module de réseau d'émission (40) qui utilise lesdits coefficients pour convertir lesdits signaux numériques de faisceaux d'antenne d'émission en lesdits signaux numériques d'émission I et Q.

6. Station de télécommunications selon la revendication 5, caractérisée en ce que le dispositif de commande comprend :

25 un moyen servant à contrôler la demande en temps réel de services de télécommunications dans différentes parties géographiques de ladite région d'empreinte ;

un moyen servant à ajuster lesdits coefficients lorsque ladite demande en temps réel de services de télécommunications varie ;

30 un moyen servant à produire des coefficients réajustés afin de faire que ladite antenne à groupement d'éléments rayonnants fournisse des faisceaux d'antenne supplémentaires à des parties géographiques en réponse à une augmentation de ladite demande en temps réel ; et

35 un moyen servant à produire des coefficients réajustés afin de faire que ladite antenne à groupement d'éléments rayonnants supprime des faisceaux d'antenne dans des parties géographiques qui présentent une diminution de ladite

demande en temps réel, en réponse à une diminution de ladite demande en temps réel.

5 7. Station de télécommunications selon la revendication 6, caractérisée en ce que ledit dispositif de commande réajuste lesdits coefficients afin de fournir des faisceaux d'antenne ayant de petites régions de couverture auxdites parties géographiques qui ont ladite plus forte demande en services de télécommunications, et réajuste lesdits coefficients afin de fournir des faisceaux d'antenne ayant de plus grandes régions de couverture auxdites parties géographiques qui ont ladite plus faible demande en services de télécommunications.

10 8. Station de télécommunications selon la revendication 7, caractérisée en ce que ladite antenne à groupement d'éléments rayonnants est destinée à être placée sur un satellite géostationnaire, et en ce que ladite région d'empreinte possède une partie géographique identifiée qui présente une plus forte demande prédéterminée en services de télécommunications, ladite partie géographique
15 identifiée ayant une forme qui lui est associée, et

en ce que ledit moyen de commande possède un moyen permettant d'ajuster lesdits coefficients afin de fournir un faisceau d'antenne ayant une forme permettant de sensiblement couvrir ladite partie géographique identifiée.

20 9. Station de télécommunications selon la revendication 7, caractérisée en ce que ladite antenne à groupement d'éléments rayonnants est destinée à être placée sur un satellite non géostationnaire effectuant un déplacement par rapport à la surface de la Terre, et ledit dispositif de commande possède un moyen permettant d'ajuster encore lesdits coefficients lorsque ledit satellite se déplace, de façon à maintenir ledit plus grand nombre de faisceaux d'antenne orientables pour
25 lesdites parties géographiques qui ont ladite plus forte demande en services de télécommunications.

30 10. Station de télécommunications selon la revendication 7, caractérisée en ce que ledit dispositif de commande possède un moyen servant à convertir des signaux de télécommunications reçus par chacun desdits éléments rayonnants en signaux numériques de réception I et Q, et servant à utiliser lesdits coefficients pour convertir chacun desdits signaux numériques de réception I et Q en signaux numériques de faisceaux d'antenne, chaque signal numérique de faisceau d'antenne correspondant à un faisceau d'antenne orientable.

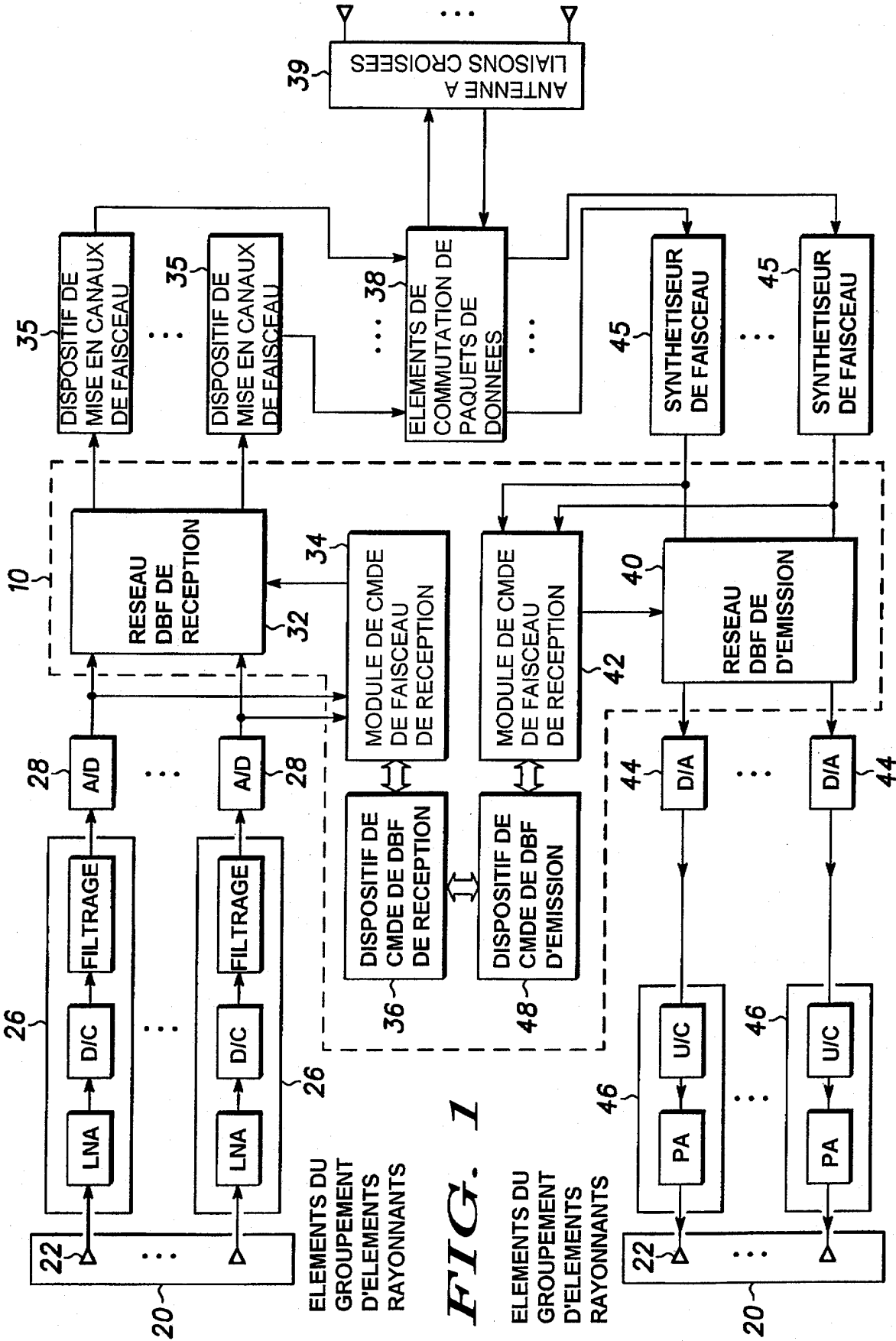


FIG. 1

FIG. 2

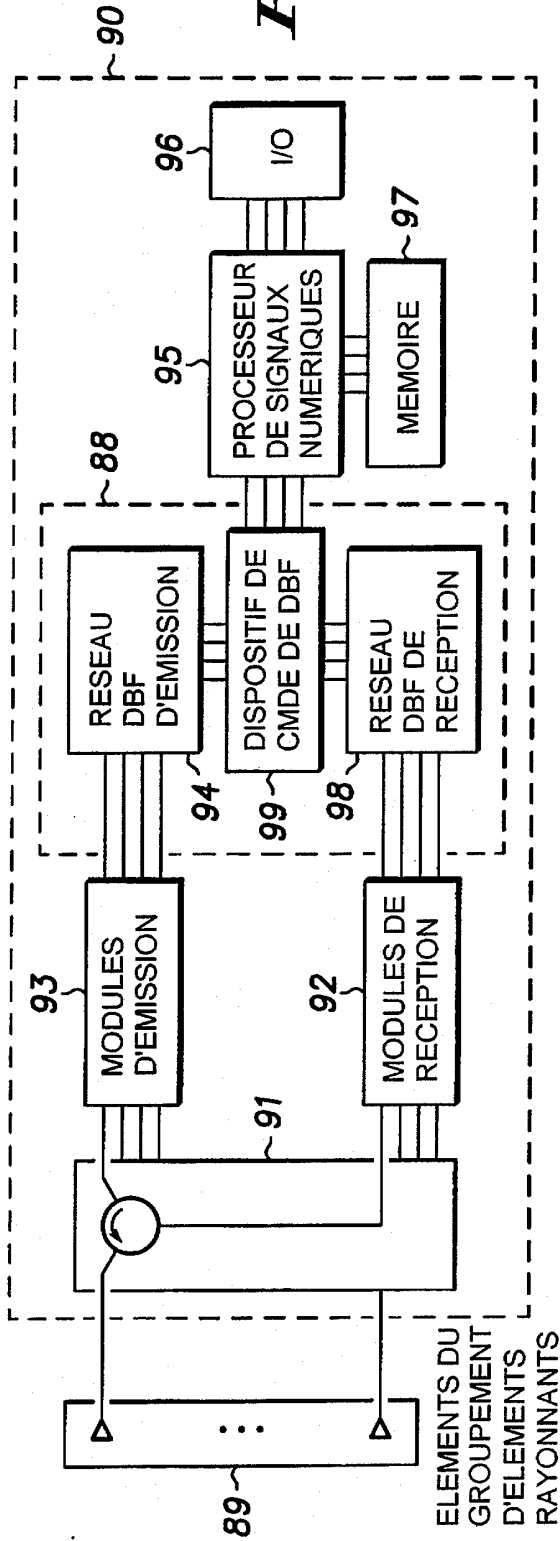
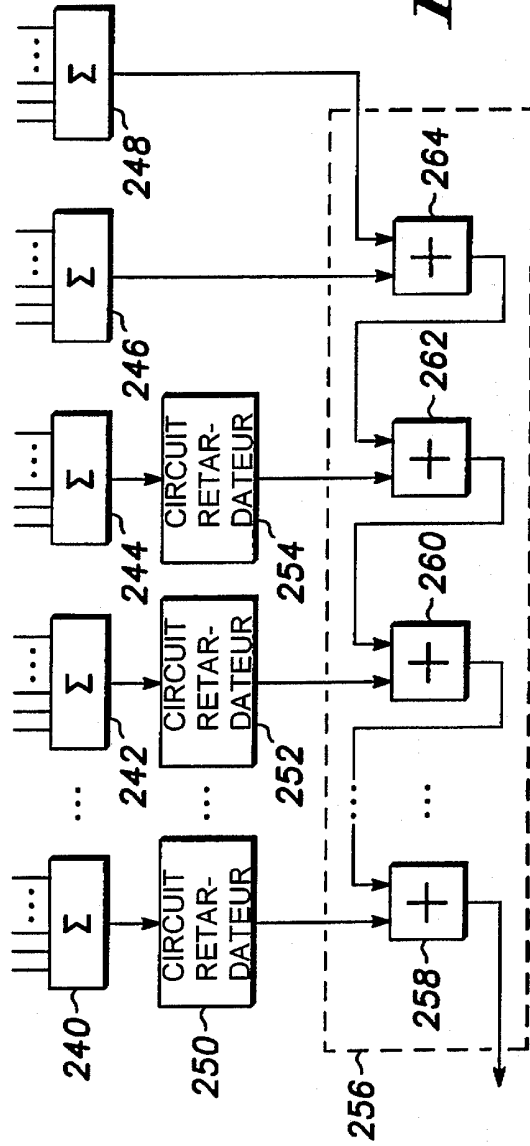


FIG. 14



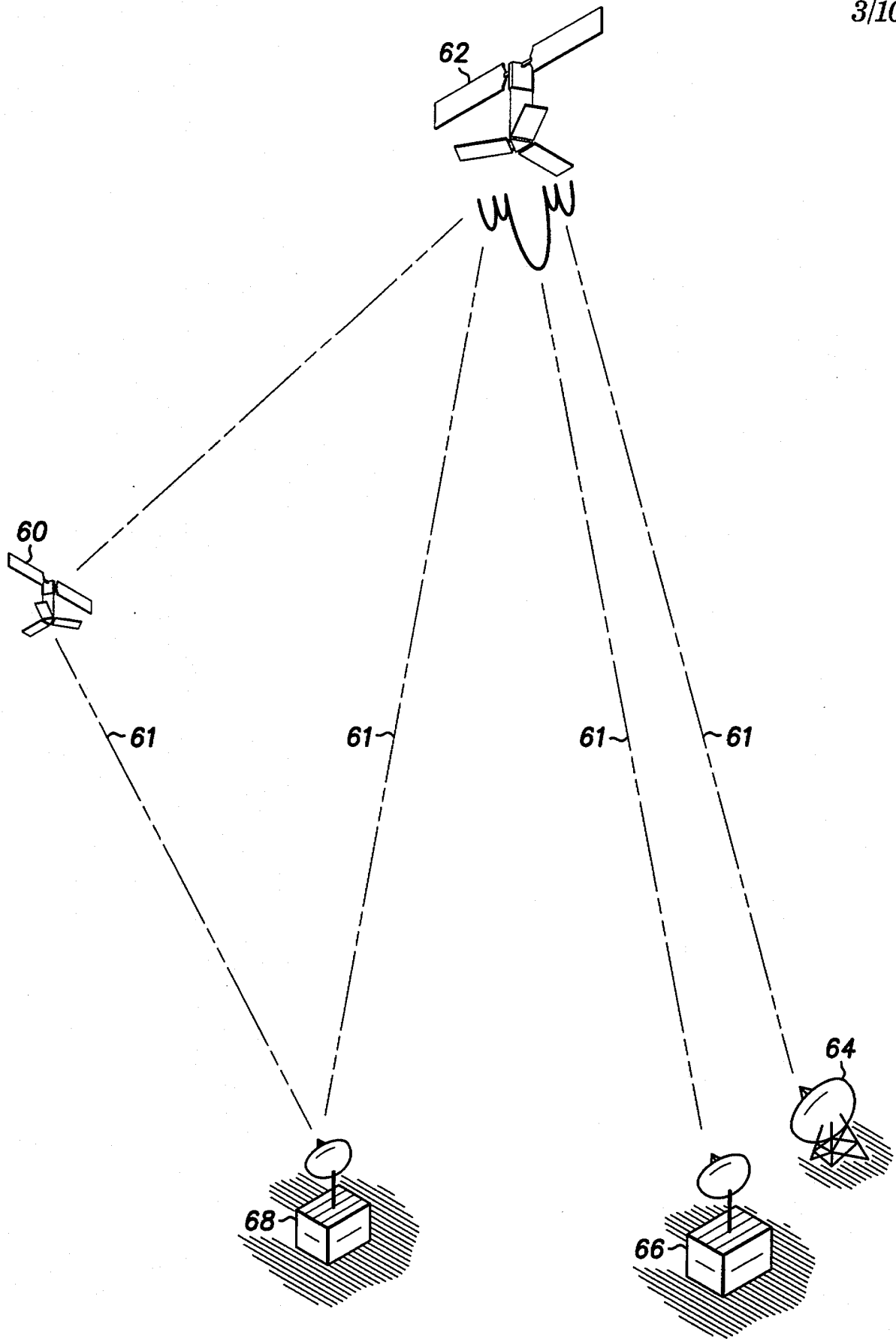
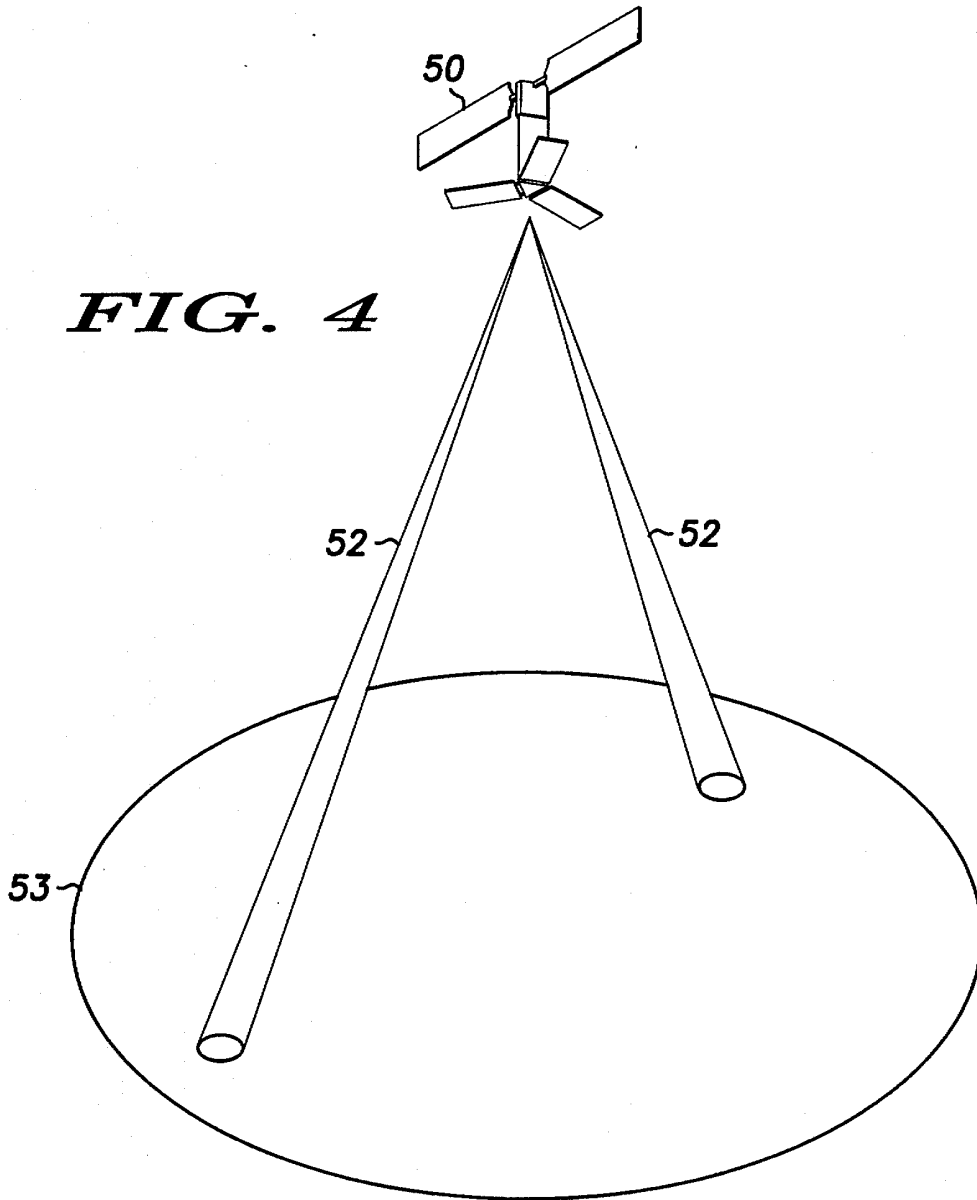


FIG. 3

FIG. 4



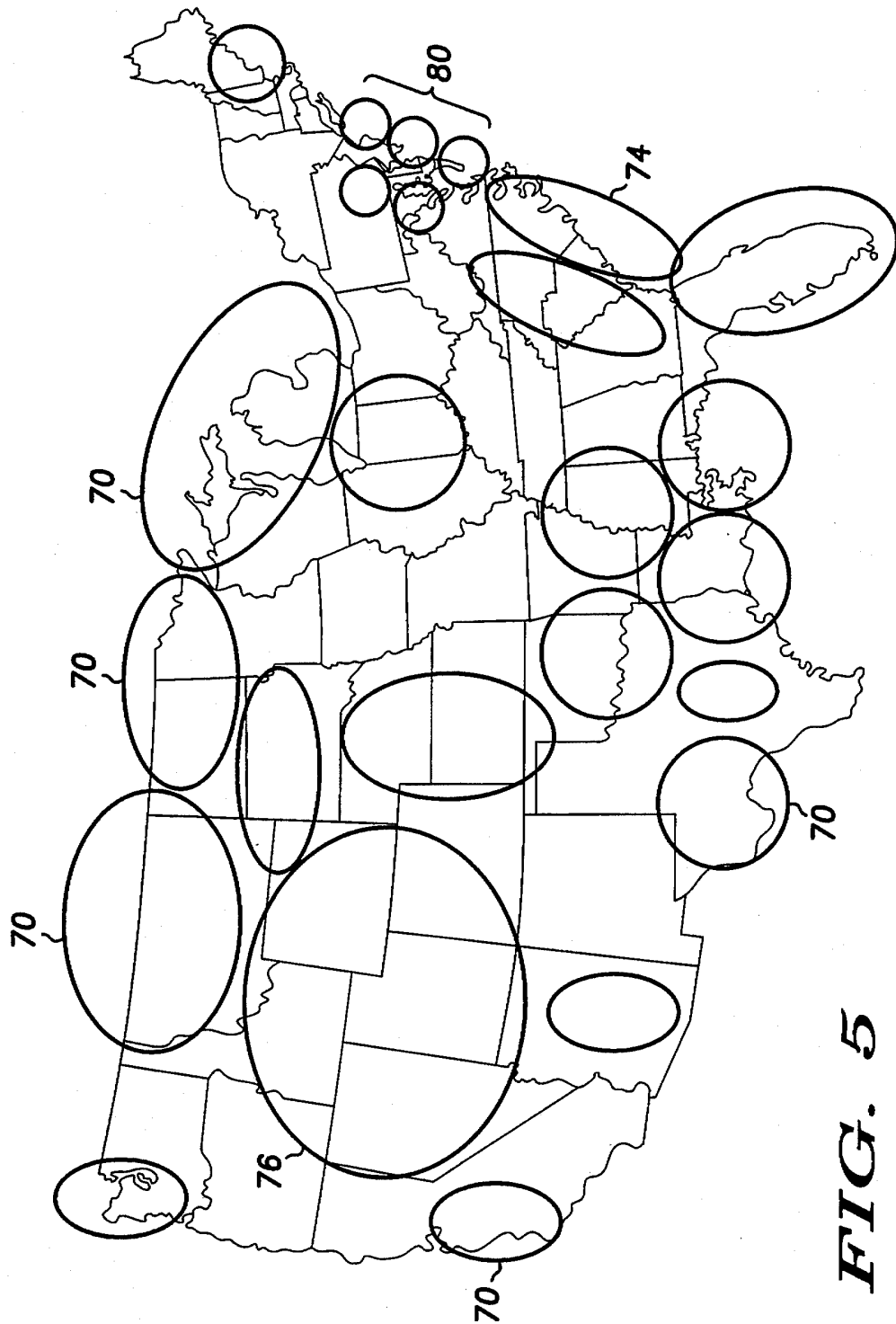


FIG. 5

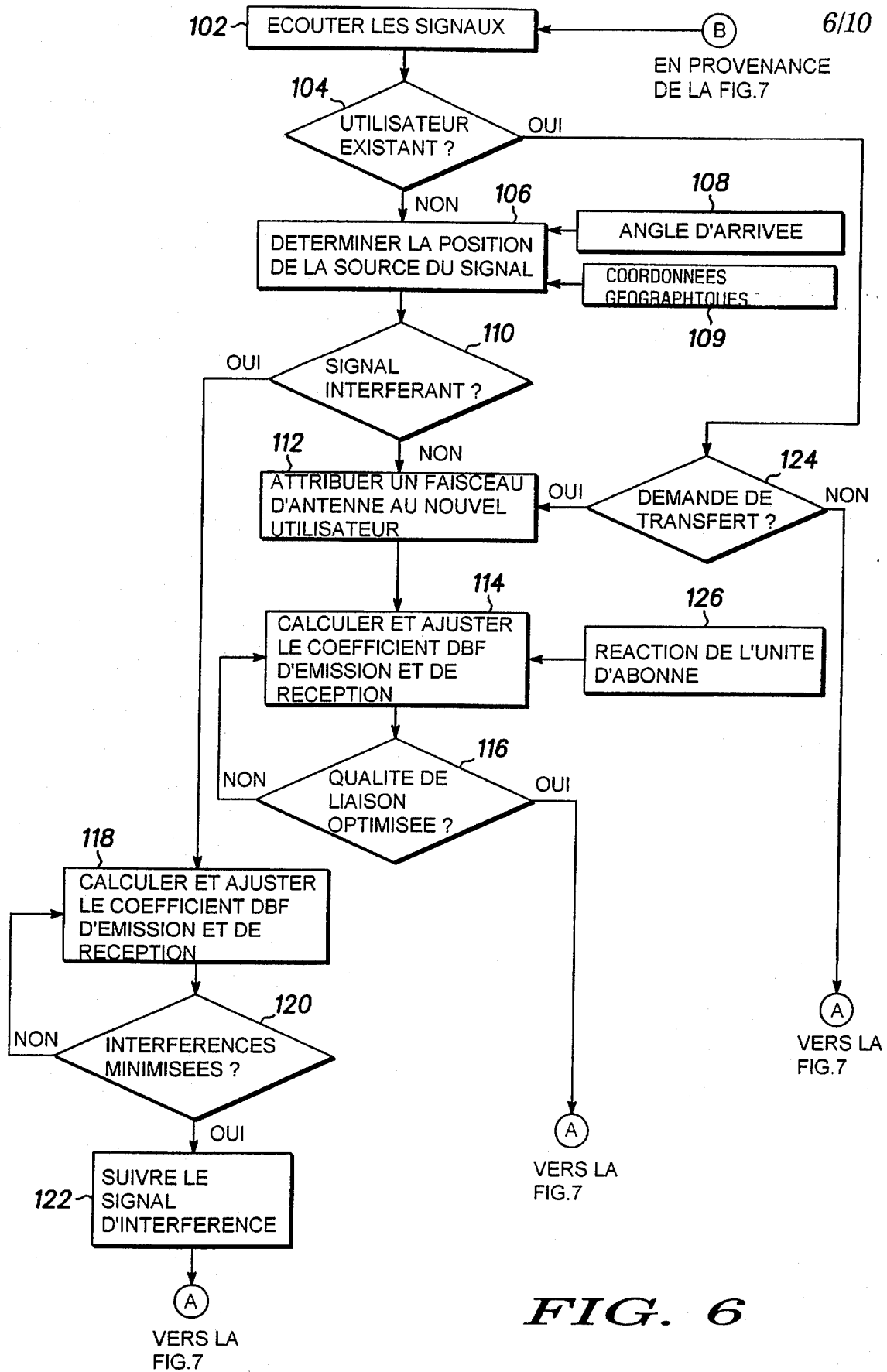


FIG. 6

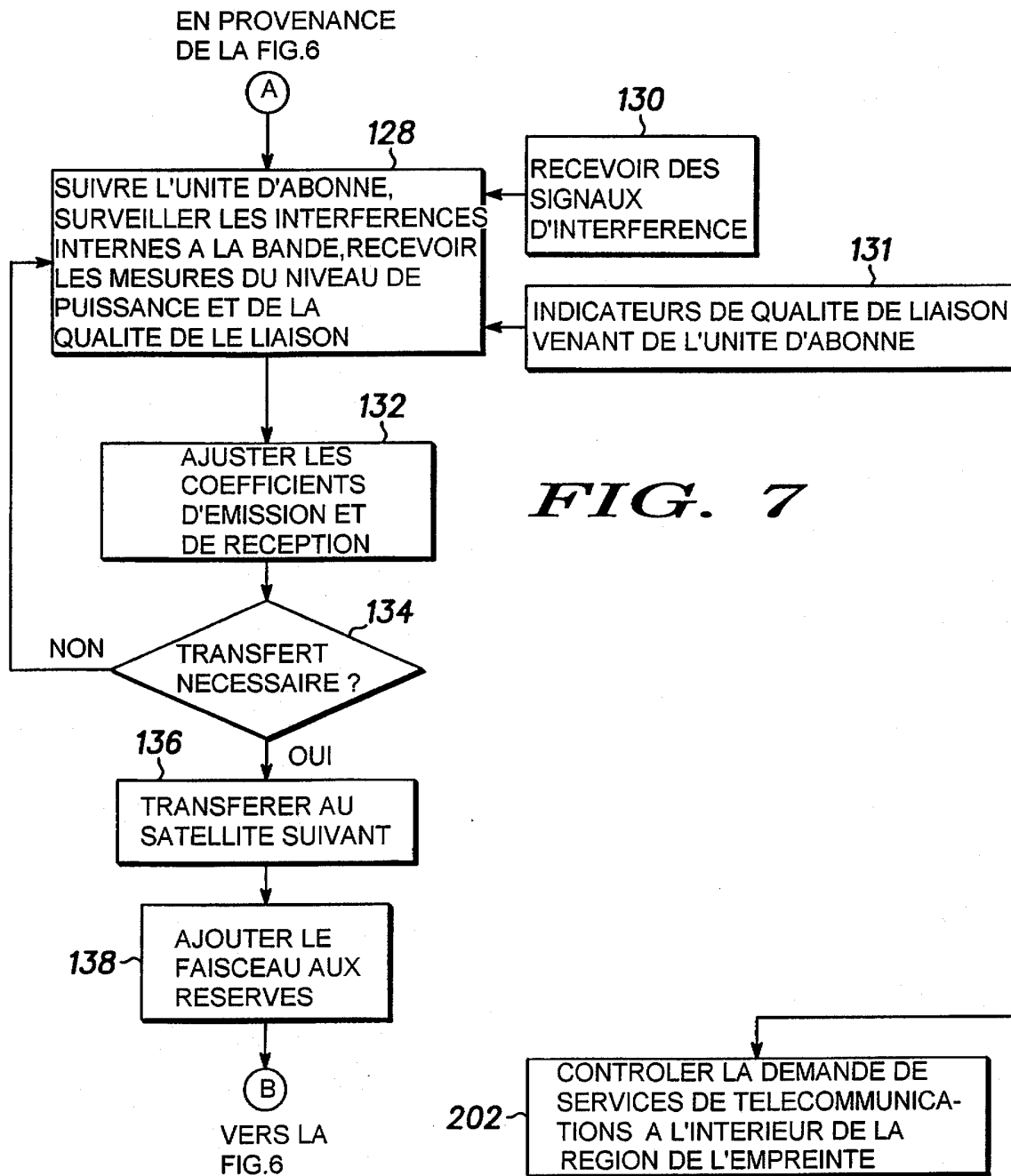
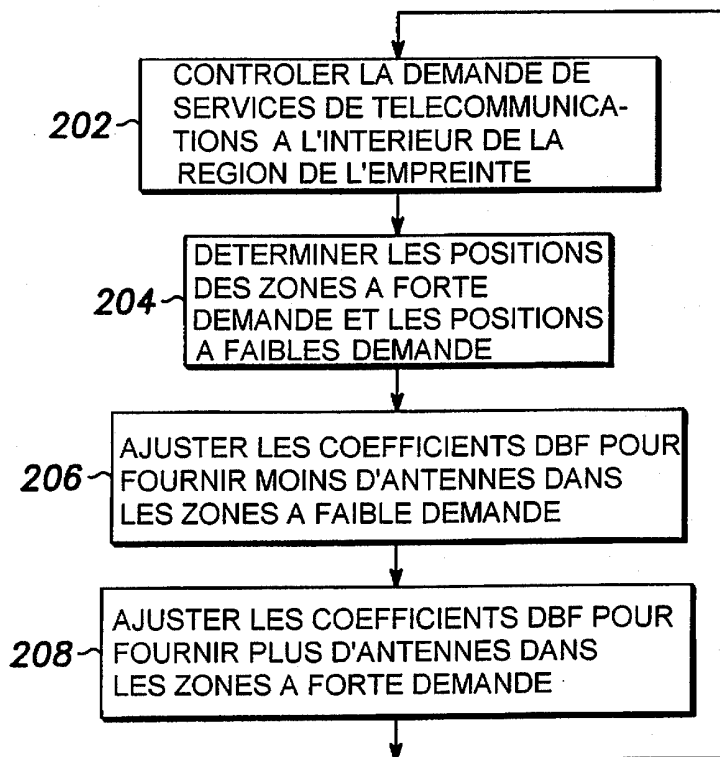


FIG. 7

FIG. 8



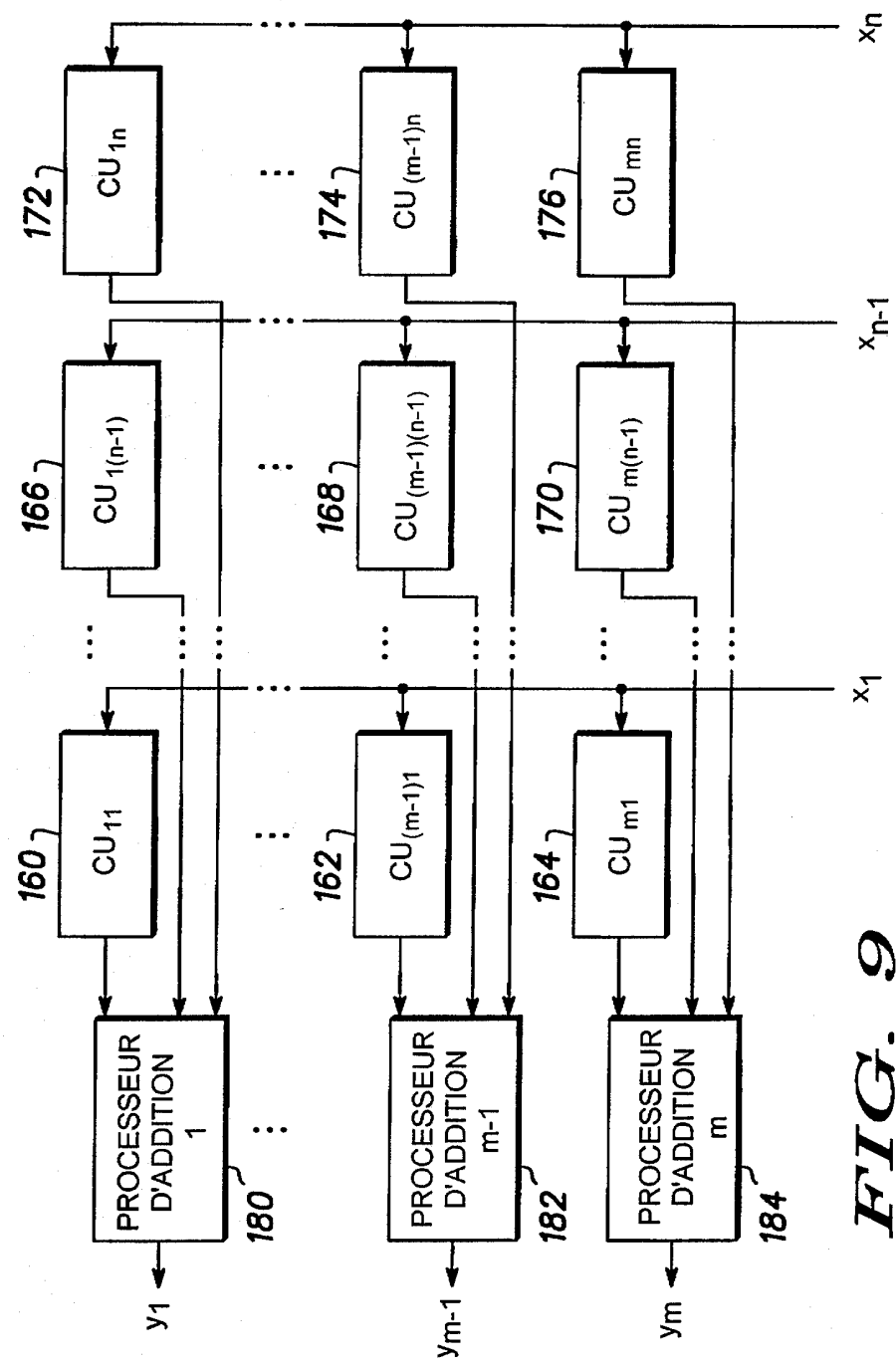


FIG. 9

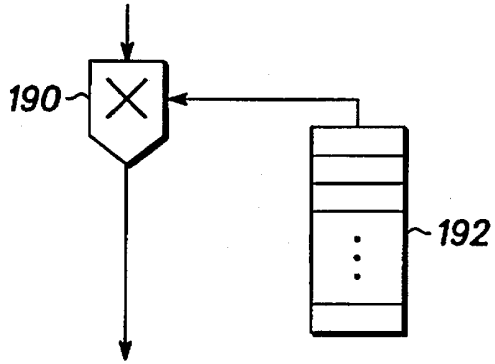


FIG. 10

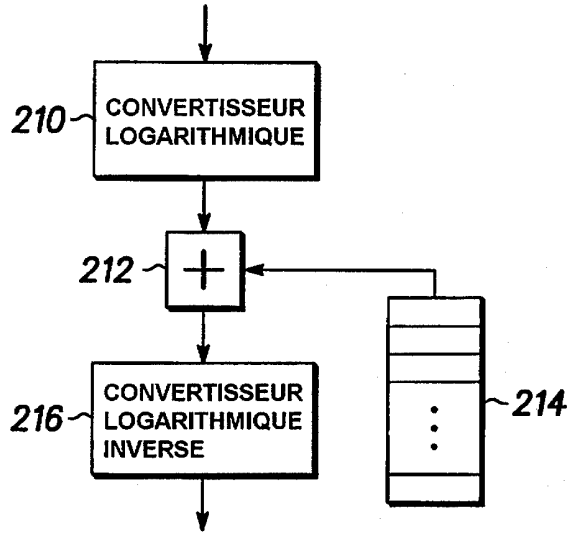


FIG. 11

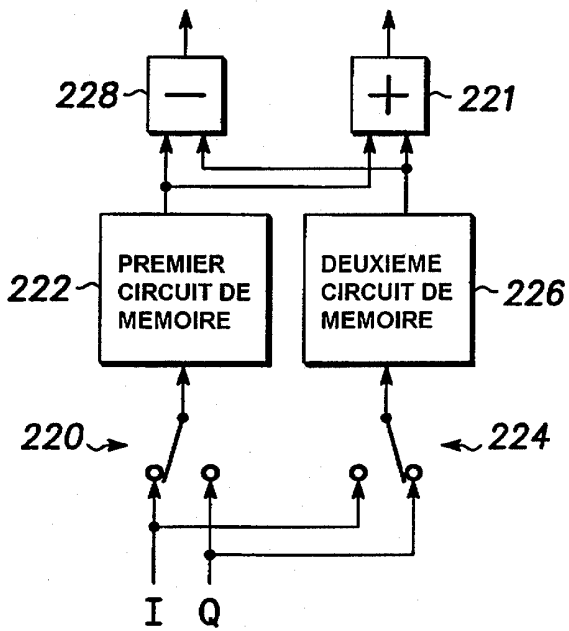


FIG. 12

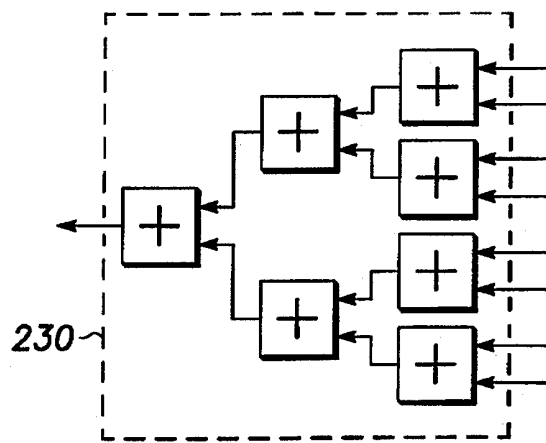


FIG. 13

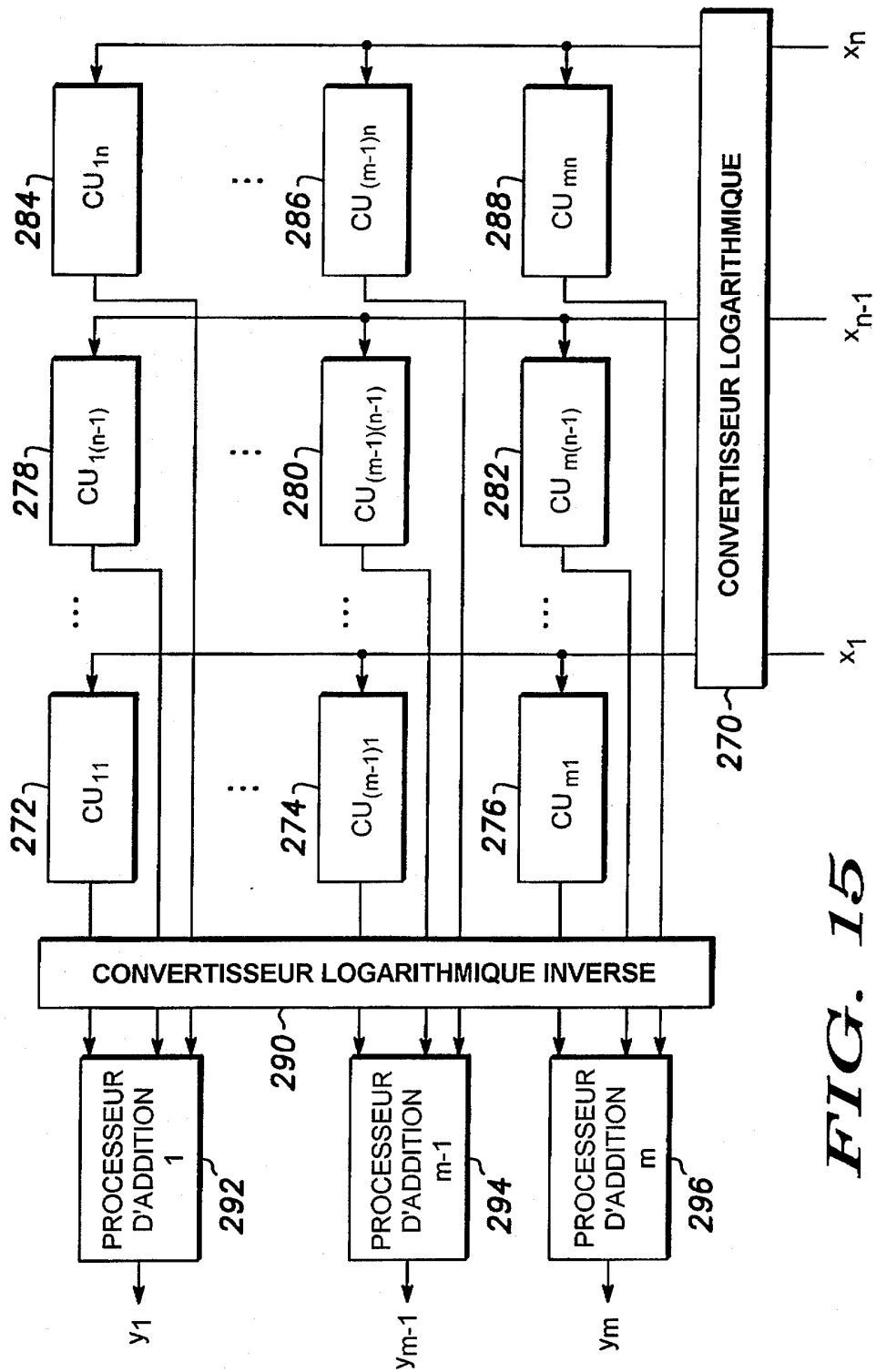


FIG. 15