

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

11 N° de publication :

2 935 209

(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

21 N° d'enregistrement national :

08 04633

51 Int Cl⁸ : H 04 B 7/204 (2006.01)

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 20.08.08.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 26.02.10 Bulletin 10/08.

56 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

60 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

71 Demandeur(s) : UNIVERSITE DU SUD TOULON VAR
Etablissement public à caractère scientifique et culturel
— FR.

72 Inventeur(s) : BARRERE JEAN et CHABRIEL
GILLES.

73 Titulaire(s) : UNIVERSITE DU SUD TOULON VAR
Etablissement public à caractère scientifique et culturel.

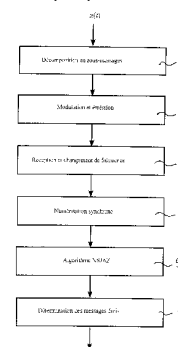
74 Mandataire(s) : GLOBAL INVENTIONS.

54 PROCÉDE ET DIPOSITIF DE TRANSMISSION HERTZIENNE SIMULTANEE D'UN ENSEMBLE DE MESSAGES
A PARTIR D'UNE PLURALITE D'EMETTEURS VERS UNE PLURALITE DE RECEPTEURS.

57 L'invention concerne un procédé de transmission hertzienne simultanée d'un ensemble de messages à partir d'une pluralité de N émetteurs vers une pluralité de M récepteurs tel que M soit supérieur ou égal à N, caractérisé en ce qu'il comporte des étapes consistant à :

- au niveau de chaque émetteur:
 - décomposer (1) chaque message en au moins deux sous-messages, les sous-messages étant tels que leur combinaison linéaire donne le message originel et que leur produit scalaire donne le signal nul;
 - moduler (2) à l'aide de chaque sous-message d'un même message, une sous-porteuse correspondante, les fréquences des sous-porteuses étant communes d'un message à l'autre, et émettre les signaux des sous-messages ainsi portés dans des sous-canaux, au moyen d'antennes électromagnétiques adaptées;
- au niveau de chaque récepteur:
 - opérer (3) un changement de fréquence du signal reçu de façon à obtenir un jeu de signaux reçus en bande de base, combinaisons linéaires des différents sous-messages;
 - numériser (4) de façon synchrone l'ensemble des signaux en bande de base fourni par l'ensemble des récepteurs, de façon à obtenir un ensemble de signaux

numérisés de l'ensemble des récepteurs;
- traiter (5) numériquement ledit ensemble de signaux numérisés à l'aide d'un algorithme apte à construire des estimations des matrices séparantes associées aux sous-canaux de transmissions propres aux sous-messages, de façon à obtenir des estimations des matrices séparantes associées aux sous-canaux propres aux sous-messages.



FR 2 935 209 - A1



Procédé et dispositif de transmission hertzienne simultanée d'un ensemble de messages à partir d'une pluralité d'émetteurs vers une pluralité de récepteurs

5

La présente invention concerne un procédé et un dispositif de transmission hertzienne simultanée d'un ensemble de messages à partir d'une pluralité de N émetteurs vers une pluralité de M récepteurs tel que M soit supérieur ou égal à N .

10

L'invention trouve des applications industrielles multiples, par exemple dans le cadre de réseaux de communication hertziens à grande ou moyenne échelle de signaux numériques, en particulier dans le domaine de la téléphonie mobile ou des réseaux informatiques sans fil, ou des communications radio analogiques, ou d'autres signaux dans le domaine audio, au sens large.

15

ETAT DE LA TECHNIQUE :

Il existe un grand nombre de modes de transmission hertzienne, consistant à transmettre un ou plusieurs messages depuis un ou plusieurs points de l'espace vers un récepteur unique. On va dans un premier temps rappeler
20 quelques modes de transmission connus, pour situer la problématique de l'invention parmi ces modes connus.

Transmission d'un message unique :

Le message, qu'il soit d'origine numérique ou non, se présente avant
25 transmission sous la forme d'un signal analogique $x(t)$ appelé signal d'information dont la puissance se concentre principalement à l'intérieur d'un domaine fréquentiel compact $[0, F_{max}]$ (F_{max} étant la fréquence la plus élevée présente dans le signal) réparti autour d'une fréquence centrale $F_c = F_{max}/2$. On parle de signal en bande de base.

30

La largeur de bande relative de ce signal (définie comme $F_{max} / F_c = 2$) est importante et ne permet pas sa transmission de façon simple sur de

grandes distances, du fait de problèmes de dispersion de fréquences. Pour réduire cette largeur de bande relative, on augmente la fréquence centrale par une opération de modulation : le signal effectivement transmis est un signal porteur haute fréquence (F_c'), dont
5 l'amplitude et/ou la fréquence et/ou la phase est affectée par le signal d'information $x(t)$. Lorsque la nouvelle largeur de bande relative ($2F_{max}/F_c'$ pour la modulation d'amplitude) est inférieure à $1/100$, on considère que les effets de la dispersion sont négligeables : on parle alors de signal bande-étroite.

Le signal bande-étroite est émis au moyen d'une antenne électromagnétique.
10 Au niveau de l'antenne électromagnétique de réception, une opération de changement de fréquence permet de récupérer de nouveau un signal en bande de base, noté $y(t)$. Ce dernier correspond, à un coefficient d'amplitude h près, à une fonction g du signal d'information $x(t)$: $y(t) = h.g(x(t))$. La valeur de ce coefficient est liée aux retards de propagation de l'onde à travers le trajet direct et
15 les éventuels chemins réfléchis. Ce coefficient caractérise le canal de transmission entre l'émetteur et le récepteur. La fonction g traduit le type de modulation utilisé à l'émission. Dans le cas particulier de la modulation d'amplitude, la fonction g se réduit à la fonction identité ($g(x(t))=x(t)$) et le signal ramené en bande de base à la réception sera directement le signal d'information à un coefficient près :
20 $y(t)=h.x(t)$. Dans les autres cas, il sera possible d'estimer le signal d'information à un coefficient près après inversion de la fonction g . Dans la suite du document, pour ne pas alourdir l'exposé, nous nous placerons systématiquement dans le cadre de la modulation d'amplitude où la fonction g est sans effet et peut donc être ignorée. Cela étant, nous préciserons à quelle étape du procédé l'inversion
25 numérique de l'effet de la fonction g sera nécessaire dans le cas où la modulation utilisée n'est pas une modulation d'amplitude.

Transmission de plusieurs messages (accès multiple à un récepteur unique)

On cherche dans ce cas à transmettre un ensemble de N messages vers un récepteur unique. Au niveau physique, le principe reste bien entendu le même que précédemment. Pour que les messages puissent être dissociés à la réception, il est nécessaire de les répartir dans des espaces disjoints plus ou moins complexes. On parle d'accès multiple par répartition ou « Division Multiple Access » en terminologie anglo-saxonne, noté DMA. Plusieurs modes de répartition du signal reçu sont utilisés.

Répartition en temps ou « Time-DMA » (notée TDMA)

Il s'agit d'un multiplexage temporel pour lequel la porteuse est divisée en intervalles de temps. Les intervalles de temps sont regroupés en trames. A chaque message est alloué un intervalle de temps au sein d'une trame TDMA. Les trames véhiculent, en plus des différents messages, des informations de début et de fin de message permettant au système récepteur de trier les différents messages.

Cette technique, bien qu'adaptée au cas d'un émetteur unique, peut être utilisée si les N messages sont émis depuis N positions (émetteurs) distinctes. Dans ces conditions, une communication entre les différents émetteurs (émetteurs coopérants) est nécessaire afin de gérer la mise en forme des trames.

Le débit de transmission (la quantité d'informations par unité de temps) est inférieur à celui correspondant à l'envoi d'un seul message : on a donc comme inconvénient une chute de débit. La durée de transmission totale est alors au mieux égale à N fois le temps de transmission d'un seul message.

Répartition en fréquence ou « Frequency-DMA » (notée FDMA)

On transmet les N messages simultanément à partir de N émetteurs différents, chaque émetteur utilisant une bande étroite de fréquence qui lui est propre. Le système récepteur effectue les opérations appropriées pour restituer en parallèle les N messages à une amplitude près.

Les émetteurs n'ont plus à échanger d'informations entre eux et le débit obtenu reste identique au cas où il n'y a qu'un seul message à transmettre.

Le prix à payer est une occupation fréquentielle accrue (elle est multipliée par M), ce qui peut amener à des risques d'interférence avec d'autres systèmes de transmission.

Répartition en code ou « Code-DMA » (notée CDMA)

5 Cette technique utilisée en communication exclusivement numérique consiste à procéder à un étalement de spectre au moyen d'un code alloué à chaque message. Le récepteur utilise ce même code pour démoduler le signal qu'il reçoit et extraire l'information utile. Comme pour FDMA, CDMA permet de conserver un débit identique au cas où il n'y a qu'un seul message à
10 transmettre. Toujours comme pour FDMA, l'occupation spectrale est augmentée, mais ici pour chaque message. Ainsi, outre les risques d'interférences avec d'autres émetteurs, on peut être confronté à des problèmes de dispersion de fréquences.

Conclusion sur l'extraction des messages dans les modes connus

15 Dans le cas de transmissions réparties en fréquence, en temps ou en code, chaque message ayant été transmis de façon "séparée", il sera estimé à une amplitude près, à partir des signaux reçus et après inversion de la fonction g dans un cas général. Ces méthodes rappelées ici peuvent en pratique être déclinées selon une grande quantité de variantes qui, quelles qu'elles soient,
20 se traduisent soit par une durée de transmission soit par un encombrement spectral proportionnel au nombre de sources.

Utilisation de la diversité spatiale avec un système MIMO

Dans le but de maintenir à la fois le débit et l'efficacité spectrale, on
25 pourrait choisir d'émettre simultanément les N sources sur un même canal fréquentiel étroit en utilisant N antennes réparties dans l'espace. Le système de réception comprendrait M récepteurs élémentaires (antenne + changement de fréquence) en nombre supérieur ou égal au nombre N de sources. On parle de systèmes « Multiple-Input Multiple-Output », noté MIMO.

Le problème réside dans ce que chaque récepteur i , après changement de fréquence des signaux portés, restitue un mélange $y_i(t)$ qui est une combinaison linéaire des signaux d'information $x_j(t)$. Ceci n'est vrai que dans le cas de modulation d'amplitude ; pour une autre modulation, il suffit de remplacer x par $g(x)$. Chaque coefficient du mélange h_{ij} caractérise chaque canal de transmission entre un émetteur j et un récepteur i .

L'ensemble des mélanges en fonction des sources s'écrit de manière synthétique sous la forme matricielle suivante :

$$10 \quad \mathbf{y} = \mathbf{H} \mathbf{x}$$

où \mathbf{y} est un vecteur de dimension M contenant les signaux reçus en bande de base par les M récepteurs. Le vecteur \mathbf{x} , de dimension N , rassemble les signaux d'information. La matrice \mathbf{H} , de dimension $M \times N$ et d'élément courant h_{ij} , caractérise les canaux de transmission.

La répartition spatiale des antennes émettrices et réceptrices associée à la présence éventuelle de chemins réfléchis, se traduit par des canaux de propagation différents pour chaque message (on parle de diversité spatiale). La conséquence mathématique qui en résulte est que la matrice \mathbf{H} est pseudo-inversible, c'est-à-dire qu'il existe une matrice dite séparante notée \mathbf{B} permettant de restituer le vecteur \mathbf{x} à partir du vecteur \mathbf{y} .

Pour mener à bien la séparation des messages, il faut bien entendu réussir à séparer les signaux d'information en disposant de l'estimation d'une matrice \mathbf{B} séparante. Cette matrice doit idéalement vérifier la relation $\mathbf{BH}=\mathbf{I}$, où \mathbf{I} représente la matrice identité de dimension N . \mathbf{B} correspond mathématiquement à une pseudo-inverse de la matrice de transfert du canal \mathbf{H} .

L'estimation d'une matrice séparante \mathbf{B} peut être effectuée à l'aide de messages pilotes ou par des méthodes statistiques.

Les émissions pilotes sont effectuées de façon épisodique au cours du processus de transmission. Chaque émission pilote consiste en une émission

séquentielle de signaux tests connus, permettant au système récepteur d'estimer une à une les différentes colonnes de la matrice de canal servant à la restitution des messages. Ces émissions présentent des inconvénients : la perte de débit durant l'émission pilote et surtout la nécessité
5 d'une concertation entre les émetteurs.

Les méthodes statistiques, encore peu utilisées de façon industrielle, sont connues sous le nom de séparation aveugle des sources (« Blind Source Separation ») et exploitent l'indépendance statistique supposée des différents messages émis. Ces méthodes statistiques sont les seules à fournir une estimée
10 d'une matrice séparante \mathbf{B} dans le cas de transmissions mono-porteuse et simultanée de plusieurs messages sans coopération entre les émetteurs, et sans autre hypothèse sur les signaux d'information que l'indépendance statistique.

Le principal défaut de l'approche statistique repose cependant sur le caractère asymptotique de la solution obtenue : en l'absence de bruit, la matrice \mathbf{B}
15 obtenue ne sera parfaitement séparante que si le nombre de mesures est infini.

BUTS DE L'INVENTION :

Un but de l'invention est par conséquent de proposer un procédé et un
20 dispositif de transmission hertzienne qui permettent de remédier aux inconvénients des procédés et systèmes de transmission connus.

Un autre but de l'invention est de proposer un procédé de transmission à émetteurs et récepteurs multiples, pouvant être mis en œuvre à l'aide d'un dispositif simple reposant sur l'utilisation de modules d'émission standards
25 légèrement adaptés, indépendants de la connaissance de la géométrie des antennes.

Un autre but de l'invention est de proposer un procédé de transmission dans lequel chaque émetteur peut travailler de manière indépendante c.à.d. sans stratégie à établir entre les différents émetteurs : pas de synchronisation, pas de
30 codage partagé sur l'ensemble des émetteurs.

Un autre but de l'invention est de proposer un procédé de transmission présentant une grande efficacité spectrale et un faible encombrement spectral, susceptible de permettre la coexistence d'un grand nombre de réseaux de transmission de ce type par des occupations de
5 bandes séparées.

Un autre but de l'invention est de proposer un procédé de transmission adapté à des transmissions sur de longues distances, et avec un temps de calcul inférieur au temps d'acquisition des données, ce qui permet un fonctionnement en temps réel.

10 Un autre but de l'invention est de proposer un procédé de transmission d'une grande polyvalence, et opérationnel sur tous types de signaux.

En particulier, un but principal de l'invention est de permettre une estimation d'une matrice **B** parfaitement séparante (en l'absence de bruit), sans utilisation de messages pilotes. La contrepartie sera l'utilisation d'au moins deux
15 sous-canaux étroits de fréquence.

A cet effet, l'invention a pour objet un procédé de transmission hertzienne simultanée d'un ensemble de N messages à partir d'une pluralité de N émetteurs vers une pluralité de M récepteurs tel que M soit supérieur ou égal à N , caractérisé en ce qu'il comporte des étapes consistant à :

- 20 - au niveau de chaque émetteur :
- décomposer chaque message en au moins deux sous-messages (on parle de découpage) dont la combinaison linéaire donne le message originel et dont le produit scalaire donne le signal nul ;
 - moduler à l'aide de chaque sous-message d'un même message,
25 une sous-porteuse correspondante, les fréquences des sous-porteuses étant communes d'un message à l'autre, et émettre les signaux des sous-messages ainsi portés dans ces sous-canaux au moyen d'antennes électromagnétiques adaptées ;
- au niveau de chaque récepteur :

- opérer un changement de fréquence du signal reçu de façon à obtenir un jeu de signaux reçus en bande de base, qui soit une combinaison linéaire des différents sous-messages ;

5 - numériser de façon synchrone l'ensemble des signaux en bande de base fourni par l'ensemble des récepteurs, de façon à obtenir un ensemble de signaux numérisés de l'ensemble des récepteurs ;

- traiter numériquement ledit ensemble de signaux numérisés à l'aide d'un algorithme apte à construire des estimations des matrices séparantes associés aux sous-canaux de transmissions propres aux sous-
10 messages, de façon à obtenir des estimations de ces matrices ;

- séparer les différents sous-messages à partir des signaux numérisés et desdites matrices estimées des matrices séparantes associées aux sous-canaux.

15 - dans le cas où la modulation utilisée n'est pas une modulation d'amplitude, il convient d'inverser numériquement à ce stade la fonction g au niveau de chacun des signaux obtenus à l'étape précédente ;

- estimer les N messages originels par sommation pondérée des
20 sous-messages estimés.

Selon une étape du procédé, on multiplie simultanément le signal reçu au niveau de chaque récepteur, par chacune desdites sous-porteuses utilisées à l'émission.

Selon l'invention, pour décomposer chaque message en au moins deux
25 sous-messages dont une combinaison linéaire donne le message originel (on parle de complémentarité) et dont un produit scalaire donne le signal nul (on parle d'orthogonalité), dans le cas d'une décomposition en deux sous-messages d'un message analogique (on parle de découpage bipolaire), on transmet ledit message analogique aux entrées de deux écrêteurs sans seuil complémentaires, choisis de
30 manière que la tension obtenue en sortie de l'un desdits écrêteurs soit positive ou

nulle, et que la tension obtenue en sortie de l'autre écrêteur soit négative ou nulle.

- L'invention prévoit également l'utilisation d'un nouvel algorithme particulier, dit algorithme NSJAZ, pour construire des estimations de matrices séparantes au niveau des sous-canaux de transmissions propres aux sous-
 5 messages. Cet algorithme utilise la propriété d'orthogonalité des sous-messages obtenues par la décomposition d'un même message et est caractérisé en ce qu'il comporte les étapes suivantes :
- construire une matrice combinaison linéaire des matrices conjointement
 10 zéro-diagonalisables dont le rang est égal à N ;
 - décomposer la matrice obtenue en valeurs singulières ;
 - projeter les matrices à zéro-diagonaliser sur le sous-espace défini par les vecteurs singuliers obtenus à l'étape précédente ;
 - empiler en ligne les versions vectorisées des matrices projetées de
 15 manière à former une matrice possédant autant de lignes qu'il y a de matrices à zéro-diagonaliser et N^2 colonnes ;
 - calculer une base du noyau de dimension N de la matrice obtenue à l'étape précédente ;
 - reconstruire en N matrices les vecteurs de base du noyau selon un
 20 procédé inverse de la vectorisation ;
 - construire une matrice inversible combinaison linéaire des matrices obtenues à l'étape précédente ;
 - calculer les vecteurs propres du faisceau de matrices constitué par la première matrice issue du noyau et la matrice inversible et construire la matrice
 25 séparante du canal gauche en multipliant l'inverse de la matrice des vecteurs propres par la transposée des vecteurs singuliers gauches ;
 - calculer les vecteurs propres du faisceau de matrices constitué par la transposée de la première matrice issue du noyau et la transposée de la matrice
 30 inversible, et construire la matrice séparante du canal droit en multipliant l'inverse de la matrice des vecteurs propres par la transposée des vecteurs singuliers droits.

L'invention a également pour objet

un dispositif de transmission pour la mise en œuvre du procédé de transmission selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comporte :

- 5 - un ensemble de N émetteurs recevant en entrée des signaux d'information (x_1, \dots, x_N) à transmettre, ces émetteurs étant configurés pour être capables de décomposer chaque message à transmettre en au moins deux sous-messages tels qu'une combinaison linéaire particulière soit égale au message originel et que leur produit scalaire soit nul, les émetteurs comportant en outre
- 10 des moyens de modulation des sous-porteuses respectant la propriété d'orthogonalité au niveau des sous-messages d'un même message ;
 - un ensemble de M récepteurs, M étant un entier supérieur ou égal à N , chaque récepteur comportant des moyens pour séparer les sous-canaux associés aux différents sous-messages issus des émetteurs, des moyens de changement de
 - 15 fréquence pour transformer les signaux des sous-canaux en signaux en bande de base, et des moyens de numérisation pour numériser lesdits signaux en bande de base, en signaux numériques ;
 - un calculateur numérique connecté aux sorties desdits récepteurs, ledit calculateur étant agencé pour exécuter un algorithme NSJAZ d'estimation de
 - 20 matrices séparantes pour chaque des sous-canal.

De façon avantageuse, dans le cas de la transmission de messages sous forme analogique et d'une décomposition de ces messages en deux sous-messages, le dispositif selon l'invention est tel que ses émetteurs comportent deux écrêteurs sans seuil complémentaires, auxquels les messages à émettre sont

25 injectés, ces écrêteurs complémentaires étant aptes à délivrer en sortie deux sous-messages complémentaires et orthogonaux.

Les caractéristiques et avantages de l'invention seront mieux compris grâce à la description qui s'ensuit et qui se réfère aux figures, dans lesquelles :

- la Figure 1 est un organigramme fonctionnel du procédé de
- 30 transmission selon l'invention ;

- la Figure 2 est un organigramme de l'algorithme NSJAZ pour l'identification des matrices séparantes au niveau de chaque sous-canal ;
- la Figure 3 est un organigramme fonctionnel d'un dispositif de transmission selon l'invention, dans le cas d'un découpage bipolaire des messages à transmettre ;
- la Figure 4 est un exemple de schéma de réalisation simplifié du dispositif de transmission de la Figure 3.

On se réfère à la Figure 1. Le principe de l'invention repose sur un procédé de découpage des ondes, que l'on peut appeler « SplitWaves » ou « Zero Division Multiple Access » en terminologie anglo-saxonne, ou encore accès multiple par répartition de zéros, noté ZDMA.

Il s'agit d'un procédé hybride entre les méthodes à répartition (plus précisément FDMA et CDMA) et les méthodes utilisant la diversité spatiale. Ce procédé repose sur un découpage (une répartition) du message en sous-messages à envoyer sur plusieurs sous-canaux, à savoir notamment deux sous-canaux dans le cas optimal. Notons que le procédé utilise une technologie qui peut être comparée au procédé d'accès multiple par sautaillement en fréquence ou « Frequency Hopping Multiple Access » (FHMA) en terminologie anglo-saxonne. Plusieurs différences fondamentales demeurent : deux messages peuvent utiliser simultanément le même sous-canal ; les sauts de fréquences sont « décidés » par le message lui-même.

Ce découpage permet une estimation exacte (dans le cas non bruité) et peu gourmande en nombre d'échantillons ($N^2 - N$, N étant le nombre de messages) des matrices séparantes associées aux différents sous-canaux. Cette estimation repose sur un nouvel algorithme, appelé algorithme de zéro-diagonalisation conjointe non symétrique, noté NSJAZ, qui sera décrit plus en détail ci-dessous.

Ce découpage en sous-messages permet en outre une reconstruction des messages originels à partir de l'estimation des sous-messages obtenus.

L'association du découpage par sous-canal et de l'algorithme d'estimation des matrices de sous-canal sont les fondements du procédé de transmission selon l'invention. Le découpage peut être effectué d'un grand nombre de façons différentes mais on verra qu'une classe particulière de découpage présente un intérêt accru vis-à-vis du problème posé.

10 Description détaillée des étapes du procédé, du côté de l'émission :

Etape 1 : Chaque message est décomposé en sous-messages dont la combinaison linéaire donne le message originel et dont un produit scalaire donne le signal nul. Ces deux propriétés seront respectivement appelées propriété de complémentarité et propriété d'orthogonalité. Dans le cas où le découpage se limite à deux sous-messages, on parlera de sous-message "gauche" et de sous-message "droit".

Etape 2 : Ensuite, on utilise les différents sous-messages d'un même message pour moduler autant de sous-porteuses, et on émet les signaux ainsi modulés. Dans le cas d'un découpage gauche-droite, on parlera naturellement de sous porteuses "gauche" et "droite". Les fréquences associées aux sous-porteuses sont identiques pour l'ensemble des messages. Les signaux modulés sont émis au moyen d'antennes électromagnétiques adaptées. Les sous-messages associés à un même message peuvent être émis depuis une même antenne. En revanche les émissions associées à des messages différents proviennent nécessairement d'antennes distinctes.

Description détaillée des étapes du procédé, du côté de la réception :

Etape 3 : On dispose d'un ensemble de récepteurs en nombre M supérieur ou égal au nombre N de messages à émettre. Chaque récepteur opère un changement classique de fréquence au niveau des différents sous canaux de façon

à obtenir un jeu de signaux en bande de base associé aux différents sous-messages.

Etape 4 : On numérise de façon synchrone l'ensemble des signaux en bande de base fourni par l'ensemble des récepteurs.

5 Etape 5 : On traite numériquement à l'aide d'un algorithme tel que l'algorithme NSJAZ décrit plus loin, l'ensemble des signaux en bande de base en exploitant la propriété d'orthogonalité de façon à construire les estimations des matrices séparantes associées aux sous-canaux de transmissions propres aux sous-messages.

10 Etape 6 : A partir des matrices séparantes estimées et des enregistrements en bande de base, on procède à une séparation des sous-sources. La propriété de complémentarité des sous-messages, permet ensuite l'estimation des messages originels sous une forme numérique par sommation pondérée (égalisation) des sous-messages correspondants.

15

Description détaillée de l'étape 1 : découpage en sous-messages

On se place au niveau d'un émetteur. Les autres émetteurs seront construits sur le même principe.

Chaque émetteur a en charge l'émission d'un message qui lui est propre.
20 On peut envisager différentes stratégies pour effectuer le découpage ad hoc du message en sous-messages. Ces stratégies diffèrent aussi bien au niveau du choix du nombre de sous-messages que des critères utilisés pour le découpage. On se contentera ici de détailler à titre d'exemple une technique analogique simple, utilisable dans le cas d'un découpage en deux sous-messages dont le produit simple est nul. Cependant, toute autre forme de découpage complémentaire et
25 orthogonal peut être envisagée.

On suppose ici que le message d'origine à transmettre se présente sous la forme d'une tension analogique. Comme décrit en relation avec la Figure 4, le signal de tension analogique est injecté sur les entrées de deux écrêteurs sans
30 seuil complémentaires composés d'un amplificateur opérationnel et d'une diode de redressement. On parlera d'écrêteur "gauche" et d'écrêteur "droit". La convention

droite/gauche sera choisie, par exemple,
pour que la tension obtenue en sortie de l'écrêteur "gauche" soit positive ou nulle
tandis que la tension obtenue en sortie de l'écrêteur "droit" sera négative ou nulle.
Les tensions obtenues en sortie des deux écrêteurs sont par construction
5 complémentaires et orthogonales dans la mesure où la somme donne la tension à
l'entrée et où le produit donne une tension nulle. On utilisera le terme de
découpage bipolaire pour nommer cette technique de découpage.

Description détaillée de l'étape 2 : émission des sous-messages

10 Au niveau de chaque émetteur, les tensions associées aux différents sous-
messages modulent chacune l'amplitude, la phase ou la fréquence d'une onde
porteuse distincte de telle sorte que la propriété d'orthogonalité des émissions en
bande de base soit conservée.

Dans le cas du découpage bipolaire, la tension analogique "gauche"
15 module l'amplitude, la phase ou la fréquence d'une porteuse "gauche". La tension
analogique "droite" module l'amplitude, la phase ou la fréquence d'une porteuse
"droite". Les signaux modulés sont éventuellement amplifiés puis émis au moyen
d'une antenne ou de plusieurs antennes électromagnétiques adaptées.

20 Description détaillée de l'étape 3 : réception et changement de fréquence

On se place au niveau d'un récepteur. Les autres récepteurs seront
construits sur le même principe.

Le signal reçu par le récepteur passe dans une batterie de filtres passe-
bande de façon à séparer les sous-canaux associés aux différents sous-messages.
25 On procède ensuite à un changement de fréquence au niveau de chaque sous-
canal de façon à obtenir autant de signaux en bande de base. Chaque signal en
bande de base obtenu contient un mélange linéaire inconnu des sous-messages
provenant d'émetteurs distincts.

30 Description détaillée de l'étape 4 : numérisation des signaux en bande de base

L'ensemble des signaux en bande de base fourni par les différents récepteurs est numérisé au moyen d'un système d'acquisition de données convenable que l'homme du métier n'aura pas de mal à déterminer. Ce système devra effectuer une acquisition synchrone des signaux au niveau de chaque récepteur et pour l'ensemble des récepteurs.

Description détaillée de l'étape 5 : identification des matrices séparantes associées à chaque sous-canal

Pour une sous-bande donnée, l'ensemble des signaux traité selon les étapes 3 et 4 et fourni par les différents récepteurs constitue des mélanges linéaires de signaux échantillonnés dont chacun est associé à des sous-messages provenant d'émetteurs distincts. Les coefficients inconnus de ces mélanges sont les éléments de la matrice de transfert caractérisant le sous canal. Dans le cas d'un découpage bipolaire, on parlera uniquement de matrices de transfert "gauche" et "droite" notées H_G et H_D .

Les enregistrements numériques fournis par le système d'acquisition sont fournis comme entrées à un module de calcul mettant en œuvre un algorithme original, noté algorithme NSJAZ, qui sera décrit plus loin.

Cet algorithme exploite la propriété d'orthogonalité des sous-messages provenant d'un même message dans le but d'estimer les matrices séparantes associés à chaque sous-canal.

En sortie de l'algorithme NSJAZ, pour chaque sous-canal, on dispose donc d'une matrice de coefficients établissant le lien entre les enregistrements numériques et les sous-messages émis.

Il y a malgré tout des indéterminations, inhérentes au problème posé, et qui sont les suivantes :

- Indétermination 1 : la commutativité de l'addition ne permet pas d'établir un ordre dans le mélange des sous-messages entrant en jeu dans un enregistrement. Par conséquent si les différentes sous-sources sont nommées, les coefficients estimés correspondants ne le sont pas. En d'autres termes si les matrices séparantes estimées permettent de remonter aux différents sous-

messages transmis, elles ne permettent pas de remonter aux noms des messages. Par contre l'algorithme délivre un ordonnancement des coefficients qui bien qu'arbitraire reste le même dans toutes les matrices, donc pour l'ensemble des sous-messages.

- 5 – Indétermination 2 : pour l'ensemble des enregistrements d'un même sous-canal, les coefficients correspondants à un même sous-message sont estimés à un facteur près.

Description technique des étapes de l'algorithme NSJAZ

10 On va maintenant décrire plus en détail l'algorithme NSJAZ, en relation avec la figure 2. L'algorithme NSJAZ est un algorithme numérique destiné à permettre le traitement de l'ensemble des enregistrements en bande de base obtenus à l'étape 5 du procédé ci-dessus, dans le but d'identifier les matrices séparantes associées aux différents sous-canaux de fréquence en exploitant
15 l'orthogonalité des sous-messages.

 On commence par décrire l'algorithme dans le cas d'un découpage bipolaire. La généralisation au cas où il y a plus de deux sous-canaux est possible. Pour assurer la clarté de la description, on définit un certain nombre de constantes et de variables : N désigne le nombre de messages et l'indice j permet d'indexer
20 un message donné. Le nombre de récepteurs est M (tel que M est supérieur ou égal à N).

 Un récepteur sera repéré par son indice i . Le nombre d'échantillons disponibles sur chaque enregistrement est K . On utilisera l'indice k pour pointer un échantillon courant. Le nombre de sous-messages associé à un même message
25 (ou encore le nombre de sous-canaux) est P . Un sous-canal donné sera indexé par ρ . Le nombre $y_{i,\rho}[k]$ désigne le k -ième échantillon enregistré par le récepteur i dans le sous-canal ρ . Le vecteur colonne $\mathbf{y}_\rho[k]$ rassemble l'ensemble des échantillons d'indice k collectés par l'ensemble des récepteurs dans le sous-canal
 ρ .

30 Dans le cas où seuls deux sous-canaux sont considérés (ρ appartient à $\{1, 2\}$), il est plus simple de parler de sous-canaux "gauche" et "droit" et on préférera

remplacer $\mathbf{y}_1[k]$ par $\mathbf{y}_G[k]$ et $\mathbf{y}_2[k]$ par $\mathbf{y}_D[k]$.

Pour chaque échantillon, chaque enregistrement du sous-canal droit (respectivement gauche) est constitué d'un mélange linéaire de N sous-messages émis rassemblés dans le vecteur colonne $\mathbf{x}_D[k]$ (respectivement $\mathbf{x}_G[k]$). Chaque échantillon de chaque sous-message droite fait un produit nul avec son homologues gauche.

L'ensemble des enregistrements du canal droit (respectivement gauche) est lié à l'ensemble des sous-messages droit (respectivement gauche) par la matrice de transfert du canal droit \mathbf{H}_D (respectivement gauche \mathbf{H}_G) :

10

$$\begin{aligned}\mathbf{y}_D[k] &= \mathbf{H}_D \mathbf{x}_D[k] \\ \mathbf{y}_G[k] &= \mathbf{H}_G \mathbf{x}_G[k]\end{aligned}$$

Dans le cas du découpage bipolaire, la propriété d'orthogonalité des sous-messages gauche et droit associées à un même message se traduit par le fait que, quel que soit k appartenant à $\{1, \dots, K\}$, les matrices $\mathbf{Z}_k = \mathbf{x}_G[k] \mathbf{x}_D^T[k]$ sont des matrices dont la diagonale est remplie de zéros (on parle de matrice zéro-diagonale).

Si l'on forme les matrices $\mathbf{R}_k = \mathbf{y}_G[k] \mathbf{y}_D^T[k]$, on obtient alors pour tous les k :

20

$$\mathbf{R}_k = \mathbf{H}_G \mathbf{Z}_k \mathbf{H}_D^T$$

On dit que les matrices des sous-canaux \mathbf{H}_G et \mathbf{H}_D vérifient un problème de zéro-diagonalisation conjointe non symétrique. On montre que ce problème peut être résolu en le ré-exprimant en deux problèmes de diagonalisation conjointe symétrique. C'est l'objet de l'algorithme NSJAZ. Notons que dans le cas d'un découpage autre que bipolaire, il conviendra d'effectuer le produit scalaire *ad hoc* pour construire les matrices \mathbf{R}_k qui conviennent.

Après calculs, l'algorithme NSJAZ délivre deux matrices \mathbf{B}_D et \mathbf{B}_G représentant les estimées des matrices séparantes associées aux sous-canaux

30

gauche et droit aux indéterminations 1 et 2

près. C'est-à-dire que l'on a dans un cas idéal les relations : $\mathbf{B}_G \mathbf{H}_G = \mathbf{D}_G \mathbf{P}$ et $\mathbf{B}_D \mathbf{H}_D = \mathbf{D}_D \mathbf{P}$.

La matrice \mathbf{P} est une matrice de permutation modélisant l'indétermination 1. Les
5 matrices \mathbf{D}_G et \mathbf{D}_D sont des matrices diagonales modélisant l'indétermination 2.

Description de l'algorithme NSJAZ

L'algorithme opère sur les K matrices \mathbf{R}_k dont la construction à partir des enregistrements numériques fournis par les différents récepteurs dépend du type
10 de découpage considéré.

Les étapes de cet algorithme sont données ci-dessous en relation avec la Figure 2, dans le cas d'un découpage en deux sous-canaux :

En 21, on calcule une matrice carrée d'ordre M , $\mathbf{R}^{(N)}$ combinaison linéaire des
15 matrices \mathbf{R}_k , telle que $\mathbf{R}^{(N)}$ soit de rang N ;

En 22, on effectue une décomposition en valeurs singulières de la matrice $\mathbf{R}^{(N)}$. On obtient deux matrices ($M \times N$) \mathbf{U} et \mathbf{V} contenant les vecteurs singuliers gauche et droit associés aux valeurs singulières non nulles de $\mathbf{R}^{(N)}$;

20

En 23, on construit les K matrices carrées d'ordre N , notées \mathbf{R}'_k en calculant les produits $\mathbf{U}^T \mathbf{R}_k \mathbf{V}$, k appartenant à $\{1, \dots, K\}$. L'exposant T représente l'opérateur de transposition ;

25 En 24, on forme la ($K \times N^2$) matrice \mathbf{R} dont, quel que soit k , la k -ième ligne est formée par le dépliement des N colonnes de la matrice \mathbf{R}'_k (on parle de vectorisation);

En 25, on estime une base du noyau de la matrice \mathbf{R} en prenant les N vecteurs singuliers gauche associés aux N plus petites valeurs singulières de \mathbf{R} . Chacun de ces vecteurs notés $\mathbf{k}_i^{\mathbf{R}}$ comporte N^2 éléments ;

5

En 26, on replie en colonne chacun des N vecteurs $\mathbf{k}_i^{\mathbf{R}}$ calculés dans l'étape 5 de façon à obtenir K matrices carrées d'ordre N , $\mathbf{K}_i^{\mathbf{R}}$. Le repliement correspond à l'opération inverse de la vectorisation ;

10 En 27, on calcule la matrice carrée d'ordre N , $\mathbf{K}^{(N)}$ combinaison linéaire des matrices $\mathbf{K}_i^{\mathbf{R}}$ telle que $\mathbf{K}^{(N)}$ soit de rang N ;

En 28, on calcule \mathbf{J}_D la matrice carrée d'ordre N des vecteurs propres du faisceau de matrices $(\mathbf{K}^{(N)}, \mathbf{K}_I^{\mathbf{R}})$;

15

En 29, on calcule \mathbf{J}_G la matrice carrée d'ordre N des vecteurs propres du faisceau de matrices $(\mathbf{K}^{(N)T}, \mathbf{K}_I^{\mathbf{R}T})$ en conservant l'arrangement des valeurs propres de l'étape 28 ;

20 En 30, on obtient l'estimée de la matrice séparante \mathbf{B}_D du sous-canal "droit" en calculant le produit $\mathbf{J}_D^{-1} \mathbf{V}^T$. On obtient l'estimée de la matrice séparante \mathbf{B}_G du sous-canal "gauche" en calculant le produit $\mathbf{J}_G^{-1} \mathbf{U}^T$. L'exposant $^{-1}$ représente l'opérateur d'inversion matricielle.

25

Généralisation de l'algorithme NSJAZ à plus de deux sous-canaux :

Dans le cas où il convient d'estimer les matrices de transfert correspondant à $P > 2$ sous canaux, il suffit d'exécuter au moins $P - 1$ fois l'algorithme NSJAZ tel que décrit ci-dessus dans le cas bipolaire, en remplaçant les indices "gauche" et "droit" par, successivement et par exemple, 1 et 2, 1 et 3, . . . , 1 et P . On obtient ainsi, dans l'ordre, les estimations des matrices de transfert des

30

sous-canaux 1, 2, . . . , P . L'utilisation d'un sous-canal de référence (ici le sous-canal 1) permet de conserver la maîtrise des permutations.

5 Description détaillée de l'étape 6 de la Figure 1: estimation des messages originels

Il est à noter que dans le cas où il s'agit de simplement déterminer des caractéristiques de canaux de transmission et donc d'identifier des matrices de sous-canaux, le processus selon l'invention peut s'arrêter en fin de l'étape précédente, sans qu'il y ait besoin de récupérer les messages originels du côté
10 récepteur. En effet, des estimations des matrices de transfert des sous-canaux s'obtiennent directement à partir des matrices séparantes associées en calculant par exemple les pseudo-inverses de More-Penrose.

Dans le cas contraire où le problème visé est bien un problème de transmission de messages entre des émetteurs et des récepteurs, il s'agira de
15 récupérer du côté des récepteurs, les signaux (ou messages) transmis par les émetteurs.

Les matrices séparantes correspondant aux différents sous-canaux ayant été estimées en aveugle, il est maintenant possible de procéder du côté du récepteur à l'estimation de l'ensemble des messages transmis à l'origine. Cette
20 estimation des messages originels comporte les étapes suivantes, qui peuvent être partiellement fusionnées ou non selon le cas :

Etape 6-1 : estimation des sous-messages :

Plusieurs méthodes sont envisageables pour cette estimation, selon la
25 nature des signaux (analogiques ou numériques) et selon le critère employé (optimisation du rapport signal à interférences et/ou du rapport signal à bruit).

Par exemple dans le cas de l'optimisation du rapport signal à interférences, on pré-multiplie les enregistrements par les différentes matrices séparantes, de façon à obtenir les estimations des différents sous-messages émis
30 ordonnées selon les messages auxquels elles se rapportent. Rappelons que dans

le cas d'une modulation autre que d'amplitude, il convient d'inverser à ce niveau l'effet de la fonction g .

A l'issue de l'estimation des sous-messages, on dispose, pour chaque message originel, de l'estimation des différents sous-messages sur lesquels il a été
5 découpé.

Etape 6-2 : égalisation de l'amplitude des sous-messages :

On dispose désormais, pour chaque message, de l'estimation des différents sous-messages sur lesquels il a été découpé. Mais ces sous-messages
10 sont estimés à une amplitude et un signe près (indétermination 2). Il faut maintenant égaliser ces amplitudes de façon à pouvoir reconstruire le message originel par sommation. Plusieurs techniques sont envisageables en fonction de la nature des signaux transmis (en particulier analogique ou numérique) et en fonction du type de découpage utilisé. On peut en citer quelques unes à titre
15 d'exemple.

– Dans le cas où les messages sont numériques :

La valeur des symboles transmis au niveau de chaque sous-canal est alors connue et il sera possible d'estimer les facteurs d'amplitude inconnus.

On peut par exemple considérer le cas où le symbole de plus grande
20 valeur ou de plus petite valeur est reçu sur chaque sous-canal.

Quand la distance entre deux symboles consécutifs est constante, il est possible d'estimer les facteurs d'amplitude lorsque deux symboles consécutifs sont reçus sur chaque sous-canal.

– Dans le cas où les messages sont analogiques, de moyenne nulle
25 (centrés), et dans le cas où le découpage est bipolaire.

Un facteur d'échelle relatif entre les sous-messages gauche et droit pourra être estimé de façon à centrer la somme pondérée des deux sous-messages.

Etape 6-3 : estimation des messages :

30 L'estimation des messages d'origine est obtenue à partir de la sommation des sous-messages égalisés correspondants.

On a représenté en Figure 3 un organigramme fonctionnel d'un dispositif de transmission apte à mettre en l'œuvre le procédé selon l'invention, dans le cas d'un découpage bipolaire des messages à transmettre et dans le cas d'une modulation d'amplitude.

Des signaux x_1, x_2, \dots, x_N sont fournis en entrée 30 à des émetteurs ZDMA 31 qui décomposent ces signaux respectifs en une partie droite, x_j^D , et une partie gauche x_j^G , qui sont alors émis au moyen de l'antenne 32 de chaque émetteur 31 respectif. A la réception, des antennes 33 solidaires chacune d'un récepteur ZDMA 34, captent les signaux émis et calculent les vecteurs $y_G[k]$ et $y_D[k]$ tel qu'expliqué précédemment. Ces valeurs sont transmises par chaque récepteur 34, à un calculateur numérique 36 qui calcule les matrices à zéro-diagonaliser \mathbf{R}_k précédemment décrites et implémente l'algorithme NSJAZ tel que décrit précédemment. En conséquence, il délivre en sortie une estimation des matrices séparantes associées aux sous-canaux \mathbf{B}_G et \mathbf{B}_D tel que décrit précédemment, et qui serviront à l'estimation des sous-messages x_j^G et x_j^D des différents signaux d'entrée x_j , puis à la recomposition des messages x_j , selon l'étape 6 du procédé global, comme décrit en relation avec la Figure 1.

En Figure 4, on a donné un exemple de réalisation plus détaillé des émetteurs 31 et des récepteurs 34. Le message x_1 à transmettre est injecté en parallèle sur deux écrêteurs à diode 40, 42 qui délivrent en sortie respectivement un message gauche x_1^G entièrement positif ou nul et un message droit x_1^D entièrement négatif ou nul. Chacun desdits messages est multiplié respectivement par un signal de fréquence F_G par un multiplieur 44, et par un signal de fréquence F_D par un multiplieur 47. La sortie des multiplieurs 44, 47 est amplifiée à l'aide d'amplificateurs HF 45, 48, et émise par l'intermédiaire de l'antenne 32.

Du côté de la réception, le signal analogique transmis est reçu par l'antenne 51 et transmis à des filtres 52, 61, dont les signaux de sortie sont transmis à des multiplieurs 53, 60 qui procèdent à un changement de fréquence à l'aide respectivement des fréquences porteuses F_G et F_D . La sortie des multiplieurs

est transmise à des filtres respectifs 54,63,
 et à des convertisseurs numériques analogiques 55,64 qui restituent en sortie les
 signaux numériques $y_i^G[k]$ et $y_i^D[k]$.

5 **RESUME ET AVANTAGES DE L'INVENTION :**

En définitive, le procédé selon l'invention est un procédé de transmission
 hertzienne, à très haut débit et à forte efficacité spectrale, de messages non
 coordonnés utilisant plusieurs antennes à l'émission et à la réception (MIMO).
 Cette technologie permet un accès multiple simultané sur un canal fréquentiel
 10 découpé en un minimum de deux sous-canaux étroits. Les matrices séparantes
 associées aux différents sous-canaux sont identifiées de façon aveugle.

Le procédé et le dispositif de transmission selon l'invention présentent un
 grand nombre d'avantages par rapport à l'état de la technique.

1. Mise en œuvre matérielle simple :

15 – La mise en œuvre d'un tel système repose sur l'utilisation de modules
 d'émission standards précédés par un simple module d'écrêtage sans seuil.

– Le traitement proposé n'est pas un traitement d'antenne et ne nécessite
 donc pas la connaissance de la géométrie de l'antenne réceptrice.

– Chaque émetteur ZDMA peut travailler de manière indépendante c.à.d.
 20 sans stratégie à établir entre les différents émetteurs : pas de synchronisation, pas
 de codage partagé sur l'ensemble des émetteurs. Il est donc possible d'appliquer
 le procédé selon l'invention en téléphonie.

2. Efficacité spectrale : En transmission numérique, il est
 théoriquement possible d'obtenir une efficacité spectrale importante. En effet, le
 25 débit binaire du système correspondra à N fois le débit binaire pour un seul
 émetteur. La configuration la plus efficace spectralement est celle où seuls deux
 sous-canaux sont utilisés.

3. Faible encombrement spectral : Chaque émetteur utilisant les deux
 mêmes bandes étroites fréquences, la coexistence d'un grand nombre de réseaux
 30 de transmission de ce type est envisageable.

4. Portée : La transmission des signaux échantillonnés sur chaque porteuse n'induit pas d'étalement sensible en fréquence. L'utilisation du système sur deux bandes étroites de fréquences permet d'envisager des émissions sur de longues distances.

5 **5. Rapidité : temps réel :** L'identification des deux canaux MIMO est effectuée sur un nombre K d'échantillons réduit : en théorie $K = N^2 - N$ dans un cas non bruité.

6. Polyvalence : Le système proposé repose sur une exploitation originale des deux sous-canaux de transmission. L'algorithme n'exploite aucune caractéristique (statistique ou spectrale) particulière des signaux à transmettre, il est donc opérationnel sur tout type de signaux. Les signaux émis x_j peuvent être des signaux analogiques ou numériques et tout type de modulation peut être envisagé : AM, FM-PM, etc. L'application la plus simple à mettre en œuvre reste cependant la modulation d'amplitude.

15 **7. Robustesse :** Des simulations ont montré que le système reste efficace en présence de bruit.

Originalité de l'invention :

Sans hypothèse supplémentaire sur les sources à émettre, il n'existe pas de système équivalent permettant la transmission simultanée de plusieurs signaux sans avoir recours à un multiplexage temporel, à un multiplexage fréquentiel ou encore sans faire appel à des techniques d'étalement de spectre.

Applications de l'invention :

Parmi les applications principales du procédé et du système de transmission selon l'invention, on peut citer l'utilisation dans le cadre de réseaux de communication hertzien à grande ou moyenne échelle, comme dans le domaine de la téléphonie mobile.

Mais d'autres applications, non limitatives, vont sans doute apparaître, comme par exemple :

- la constitution de micro-réseaux hertziens de capteurs pour des applications en domotique ou dans des exploitations agricoles ;

- ou encore lorsque dans un réseau de transmission hertzienne à haut débit, un signal est déployé sur un ensemble d'émetteurs travaillant de façon concertée pour augmenter le débit de transmission.
- 5 - ou encore, l'utilisation du procédé de transmission dans un système de positionnement ou de guidage hertzien d'un récepteur dans le cas où la position des émetteurs est connue.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de transmission hertzienne simultanée d'un ensemble de
5 messages à partir d'une pluralité de N émetteurs vers une pluralité de M
récepteurs tel que M soit supérieur ou égal à N , caractérisé en ce qu'il comporte
des étapes consistant à :

- au niveau de chaque émetteur :

10 - décomposer (1) chaque message en au moins deux sous-
messages, les sous-messages étant tels que leur combinaison linéaire
donne le message originel et que leur produit scalaire donne le signal nul ;

15 - moduler (2) à l'aide de chaque sous-message d'un même
message, une sous-porteuse correspondante, les fréquences des sous-
porteuses étant communes d'un message à l'autre, et émettre les signaux
des sous-messages ainsi portés dans des sous-canaux, au moyen
d'antennes électromagnétiques adaptées ;

- au niveau de chaque récepteur :

20 - opérer (3) un changement de fréquence du signal reçu de façon à
obtenir un jeu de signaux reçus en bande de base, combinaisons linéaires
des différents sous-messages ;

- numériser (4) de façon synchrone l'ensemble des signaux en
bande de base fourni par l'ensemble des récepteurs, de façon à obtenir un
ensemble de signaux numérisés de l'ensemble des récepteurs ;

25 - traiter (5) numériquement ledit ensemble de signaux numérisés à
l'aide d'un algorithme apte à construire des estimations des matrices
séparantes associées aux sous-canaux de transmissions propres aux sous-
messages, de façon à obtenir des estimations des matrices séparantes
associés aux sous-canaux propres aux sous-messages.

30 2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que, pour obtenir une
estimation des messages originels émis par les N émetteurs, on commence par

effectuer une estimation séparée des sous-messages à partir desdits signaux numérisés et desdites matrices estimées des matrices séparantes associées aux sous-canaux, puis les messages originels sont obtenus par une sommation pondérée des sous-messages estimés.

5

3. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que pour opérer ledit changement de fréquence (3) du signal reçu, on multiplie simultanément le signal reçu au niveau de chaque récepteur, par chacune desdites sous-porteuses utilisées à l'émission.

10

4. Procédé de transmission selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que pour décomposer (1) chaque message en au moins deux sous-messages dont une combinaison linéaire donne le message originel et dont un produit scalaire donne le signal nul, dans le cas d'une décomposition en deux sous-messages d'un message analogique, on transmet ledit message analogique aux entrées de deux écrêteurs sans seuil complémentaires (40,42), choisis de manière que la tension obtenue en sortie de l'un (40) desdits écrêteurs soit positive ou nulle, et que la tension obtenue en sortie de l'autre écrêteur (42) soit négative ou nulle.

20

5. Procédé de transmission selon la revendication 1 ou la revendication 2, caractérisé en ce que ledit algorithme pour construire des estimations de matrices séparantes associées aux sous-canaux de transmissions propres aux sous-messages, est un algorithme de zéro-diagonalisation conjointe non symétrique, noté NSJAZ, qui utilise la propriété d'orthogonalité des sous-messages obtenus par la décomposition d'un même message et se traduisant par la disponibilité d'un ensemble de matrices conjointement zéro-diagonalisables de façon non symétrique.

30

6. Procédé de transmission selon la revendication 5, caractérisé en ce que l'algorithme NSJAZ comporte les étapes consistant à :

- construire une matrice combinaison linéaire des matrices conjointement zéro-diagonalisables dont le rang est égal à N ;
 - décomposer la matrice obtenue en valeurs singulières ;
 - 5 - projeter les matrices à zéro-diagonaliser sur le sous-espace défini par les vecteurs singuliers obtenus à l'étape précédente ;
 - empiler en ligne les versions vectorisées des matrices projetées de manière à former une matrice possédant autant de lignes qu'il y a de matrices à zéro-diagonaliser et N^2 colonnes ;
 - 10 - calculer une base du noyau de dimension N de la matrice obtenue à l'étape précédente ;
 - reconstruire en N matrices les vecteurs de base du noyau selon un procédé inverse de la vectorisation ;
 - construire une matrice inversible combinaison linéaire des matrices
 - 15 obtenues à l'étape précédente ;
 - calculer les vecteurs propres du faisceau de matrices constitué par la première matrice issue du noyau et la matrice inversible, et construire la matrice séparante du canal gauche en multipliant l'inverse de la matrice des vecteurs propres par la transposée des vecteurs singuliers gauches ;
 - 20 - calculer les vecteurs propres du faisceau de matrices constitué par la transposée de la première matrice issue du noyau et la transposée de la matrice inversible, et construire la matrice séparante du canal droit en multipliant l'inverse de la matrice des vecteurs propres par la transposée des vecteurs singuliers droits.
- 25 7. Dispositif de transmission pour la mise en œuvre du procédé de transmission selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comporte :
- un ensemble de M émetteurs (31) recevant en entrée des messages ($x_1,$
 - ... x_N) à transmettre, ces émetteurs étant configurés pour être capables de
 - 30 décomposer chaque message à transmettre en au moins deux sous-messages tels qu'une combinaison linéaire soit égale au message originel et que leur produit

scalaire soit nul, ces émetteurs comportant

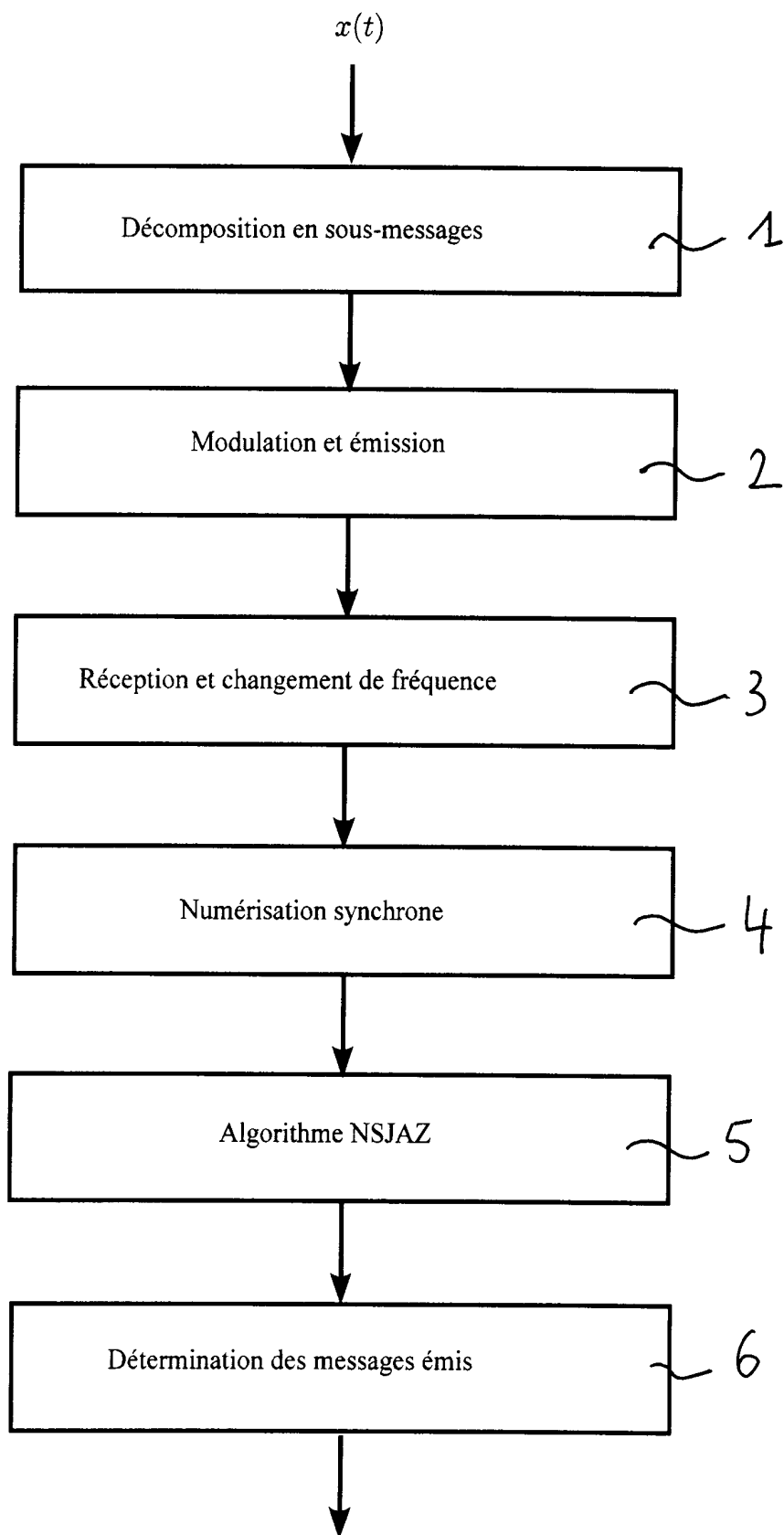
en outre des moyens de modulation par les sous-messages à émettre ;

- un ensemble de N récepteurs (34), N étant un entier supérieur à M , chaque récepteur comportant des moyens pour séparer les sous-canaux associés aux différents sous-messages issus des émetteurs, des moyens de changement de fréquence pour transformer les signaux des sous-canaux en signaux en bande de base, et des moyens de numérisation pour numériser lesdits signaux en bande de base en signaux numériques ;
- un calculateur numérique (36) connecté aux sorties desdits récepteurs (34), ledit calculateur étant agencé pour exécuter un algorithme NSJAZ d'estimation des sous-canaux, conforme à la revendication 6.

8. Dispositif selon la revendication 7, caractérisé en ce que, dans le cas de la transmission de messages sous forme analogique, et d'une décomposition de ces messages en deux sous-messages, les émetteurs (31) comportent deux écrêteurs (40,42) sans seuil complémentaires, auxquels les messages à émettre sont injectés, ces écrêteurs complémentaires étant aptes à délivrer en sortie deux sous-messages complémentaires et orthogonaux.

1/5

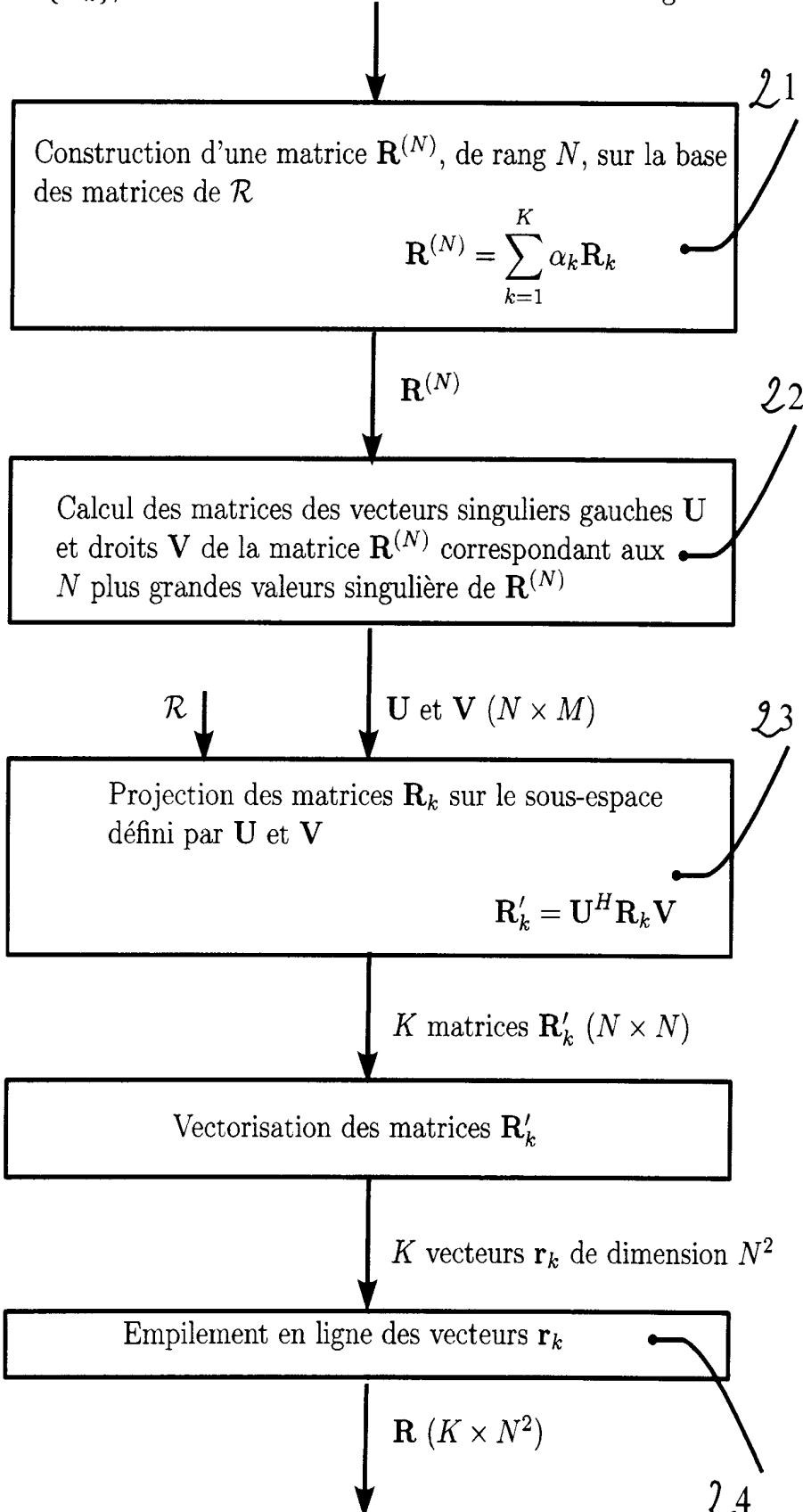
Figure 1



2/5

Figure 2 (1)

$\mathcal{R} = \{\mathbf{R}_k\}$, ensemble des K matrices $M \times M$ à zéro-diagonaliser



3/5

Figure 2 (2)

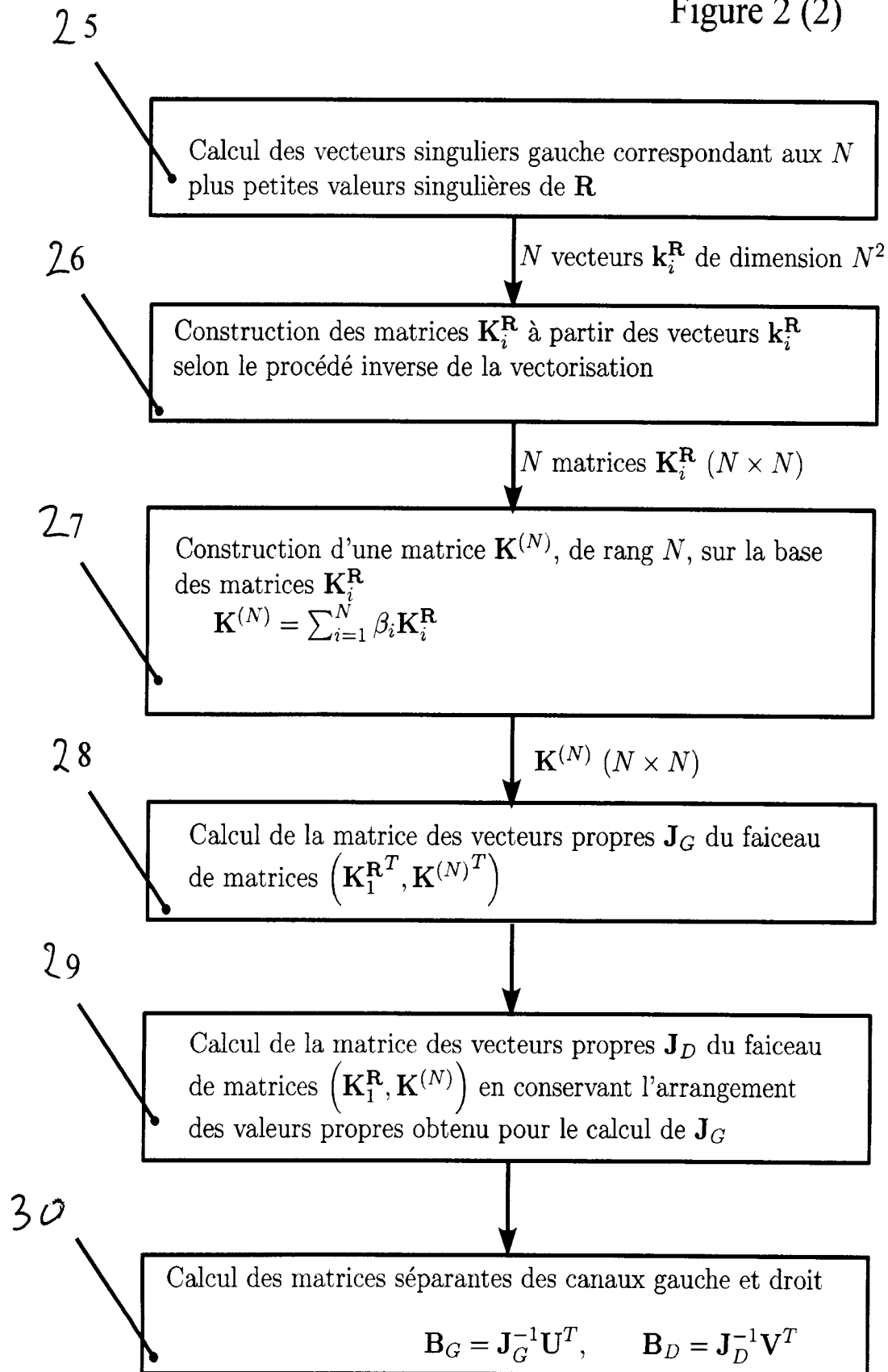
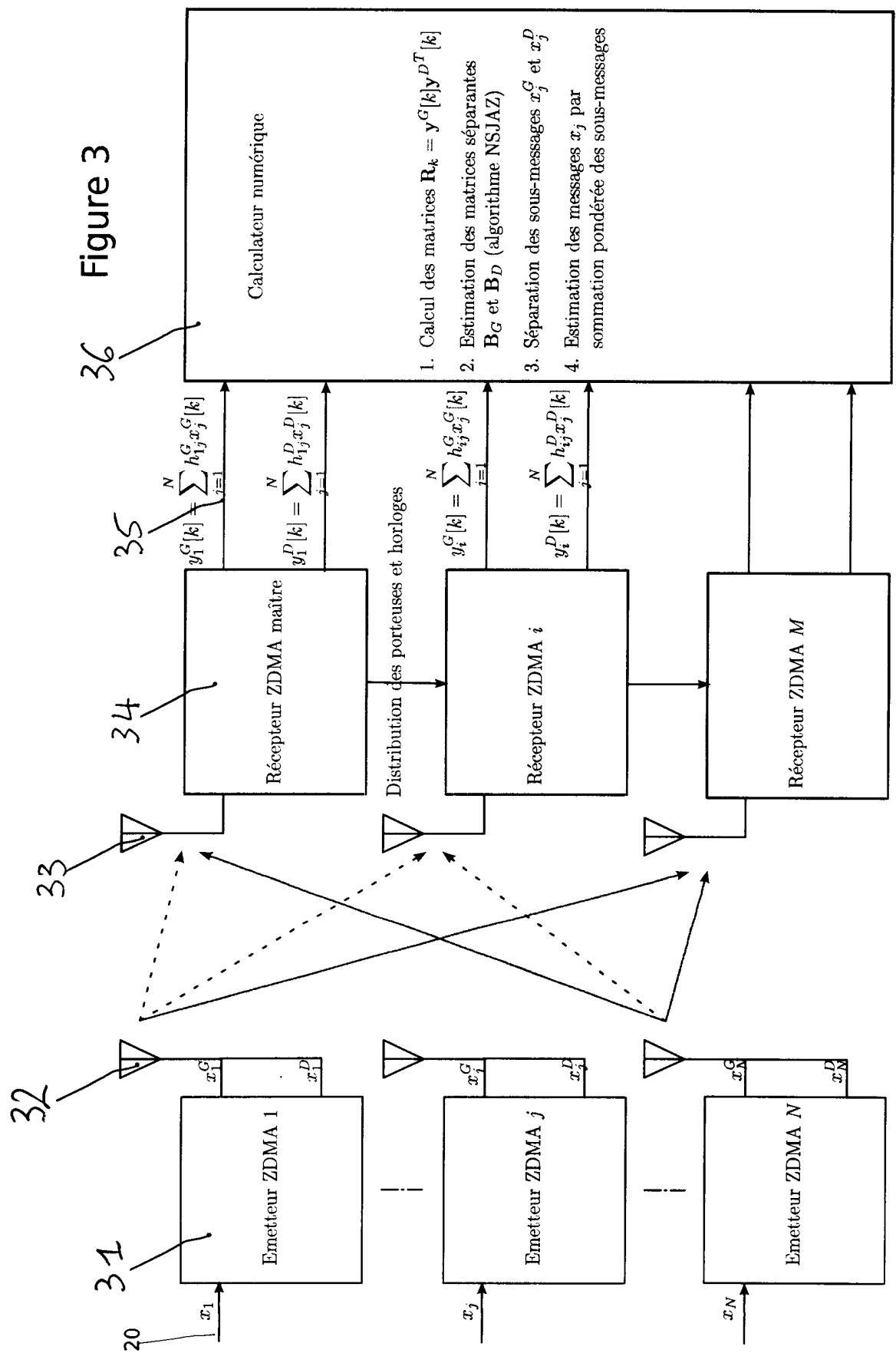
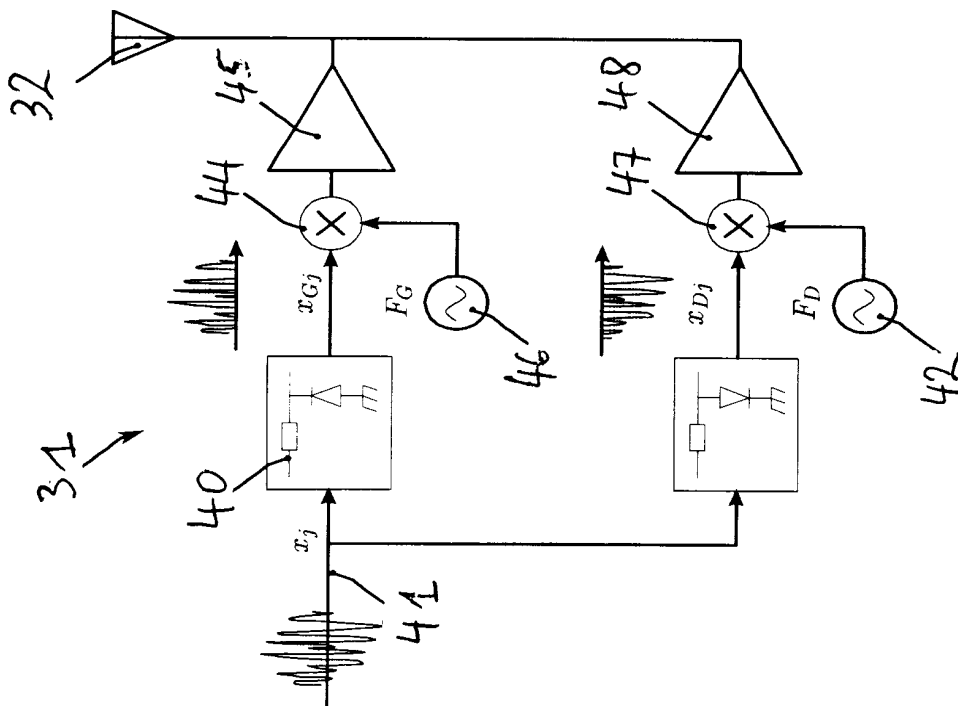


Figure 3



515



Emetteur ZDMA bipolaire

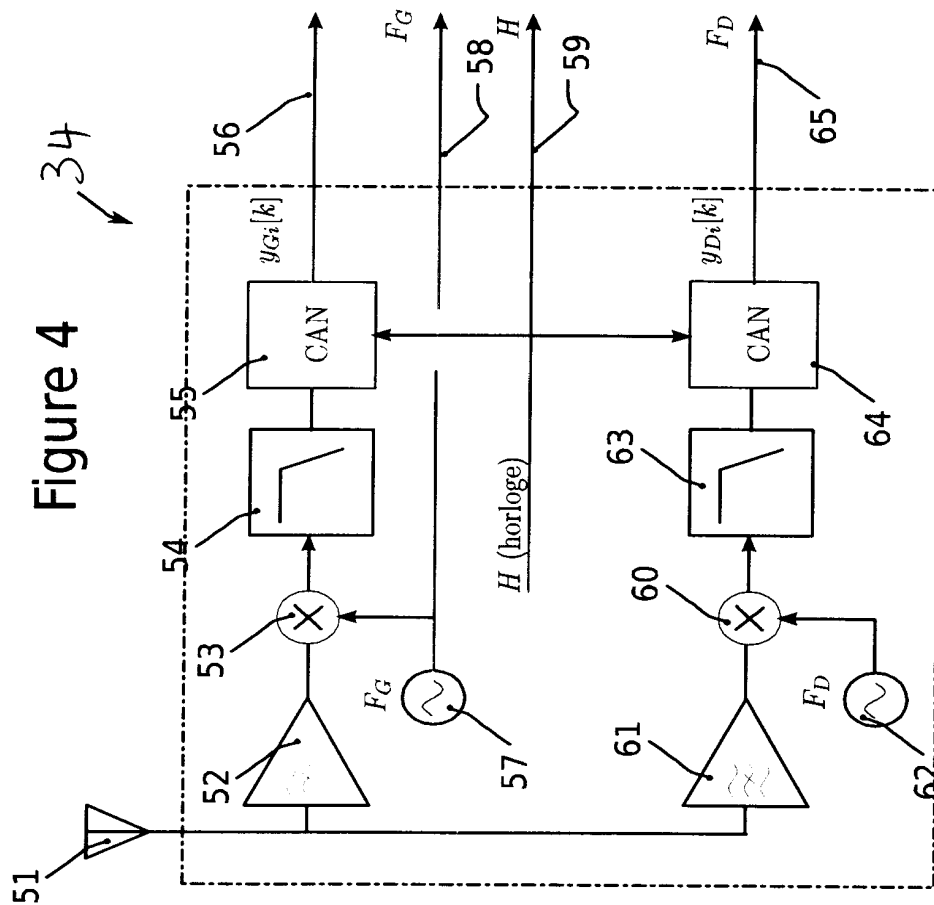


Figure 4

Récepteur ZDMA bipolaire maître



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

FA 714742
FR 0804633

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	EP 1 786 118 A (QUALCOMM INC [US]) 16 mai 2007 (2007-05-16)	1-3	H04B7/204
A	* alinéas [0022] - [0025], [0030], [0063]; revendications 1-13 *	4-8	
A	WO 2006/034425 A (INTERDIGITAL TECH CORP [US]; KOSTANIC IVICA [US]; GOLDBERG STEVEN J [U]) 30 mars 2006 (2006-03-30) * alinéas [0009] - [0019] *	1-8	
A	EP 0 181 444 A (HESPE & WOELM GMBH & CO KG [DE]) 21 mai 1986 (1986-05-21) * revendications 1-37 *	1-8	
A	EP 1 871 012 A (QUALCOMM INC [US]) 26 décembre 2007 (2007-12-26) * revendications 1-14 *	1-8	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			H04B
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
17 avril 2009		Bischof, Jean-Louis	
<p>CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS</p> <p>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</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant</p>			

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0804633 FA 714742**

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

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **17-04-2009**

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

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 1786118	A	16-05-2007	AUCUN	

WO 2006034425	A	30-03-2006	CA 2581160 A1	30-03-2006
			EP 1792197 A2	06-06-2007
			JP 2008517491 T	22-05-2008
			KR 20070062560 A	15-06-2007
			US 2006066480 A1	30-03-2006

EP 0181444	A	21-05-1986	DE 8433632 U1	14-02-1985

EP 1871012	A	26-12-2007	AUCUN	
