(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) **N° de publication :** **2 877 527**

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

(21) **N° d'enregistrement national :** **04 11787**

(51) Int Cl[8] : **H 04 L 27/32** (2006.01), H 04 L 27/26, 27/01

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) **Date de dépôt :** 04.11.04.

(30) **Priorité :**

(43) **Date de mise à la disposition du public de la demande :** 05.05.06 Bulletin 06/18.

(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) :** *FRANCE TELECOM Société anonyme* — FR.

(72) **Inventeur(s) :** BOUVET PIERRE JEAN, HELARD MARYLINE et LE NIR VINCENT.

(73) **Titulaire(s) :**

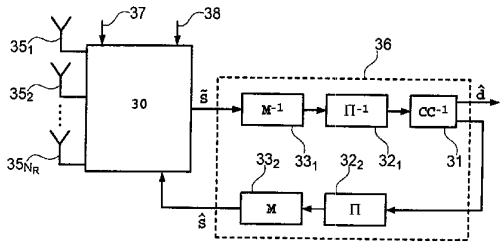
(74) **Mandataire(s) :** CABINET PATRICE VIDON.

(54) PROCEDE DE RECEPTION ITERATIF POUR SYSTEME DE TYPE MIMO, RECEPTEUR ET PROGRAMME D'ORDINATEUR CORRESPONDANTS.

(57) L'invention concerne un procédé de réception d'un signal de données, à N_R antennes de réception. Le signal de données subit, avant émission, un codage de canal, et est émis sur N_T antennes émettant chacune une partie dudit signal. On estime, en réception, le canal de transmission entre les antennes d'émission et les antennes d'émission et les antennes de réception.

Selon l'invention, un tel procédé comprend au moins une itération d'amélioration d'une estimation du signal reçu, en fonction dudit signal reçu et d'une estimation précédente dudit signal reçu, comprenant des étapes de:

- filtrage dudit signal reçu;
- détermination d'une interférence affectant ledit signal reçu, délivrant une interférence estimée;
- soustraction de ladite interférence estimée audit signal filtré, de façon à obtenir un signal amélioré;
- égalisation dudit signal amélioré, délivrant un signal égalisé;
- estimation, à partir dudit signal égalisé, du signal de données émis, appelé signal estimé.



FR 2 877 527 - A1

Procédé de réception itératif pour système de type MIMO, récepteur et programme d'ordinateur correspondants.

1. Domaine de l'invention

Le domaine de l'invention est celui des communications numériques. Plus précisément, l'invention concerne une technique de réception itérative pour un système de communications numériques comprenant, à l'émission, un codage de canal et un multiplexage spatial, dans un contexte de transmission à plusieurs antennes, encore appelé MIMO (pour "Multiple Input Multiple Output", "Entrées Multiples Sorties Multiples").

L'invention concerne plus particulièrement, mais non exclusivement, une technique de réception d'un signal émis selon le schéma d'émission proposé par A. M. Tonello dans "Space-Time Bit-Interleaved Coded Modulation with an Iterative Decoding Strategy" (en français "modulations codées espace-temps avec une stratégie de décodage itérative"), Proceedings of VTC Fall'00, Boston, USA, septembre 2000. Un tel schéma d'émission, plus couramment appelé ST-BICM, est illustré en figure 1.

Le signal 10 à émettre subit un codage de canal CC 11, puis un entrelacement Π 12. Il traverse ensuite un module de "mapping" M 13, destiné à convertir des éléments binaires en symboles complexes : un tel module associe ainsi un groupe de bits à un symbole complexe appartenant à une constellation (de type QPSK, 64QAM, etc.). La suite de symboles délivrée en sortie du module de mapping M 13 est couramment appelée signal M-aire. On procède ensuite à une conversion Série-Parallèle S/P 14, permettant de démultiplexer chaque symbole issu du module de mapping M 13 sur les différentes antennes d'émission 15_1, 15_2 à 15_{Nt}.

Selon cette technique de modulation ST-BICM, des symboles différents sont donc simultanément émis sur chacune des N_t antennes d'émission. En réception, chacune des N_R antennes de réception, où $N_R \geq N_t$, reçoit une combinaison linéaire des symboles émis, affectée des perturbations et interférences liées au canal de transmission.

2. Solutions de l'art antérieur

Le récepteur associé à ce schéma d'émission ST-BICM, proposé par Tonello dans l'article précité, est itératif, comme illustré en figure 2. Il est alimenté par les signaux reçus sur chacune des N_R antennes de réception, référencées 25_1, 25_2 à 25_{NR}, et comprend un premier module de « MIMO demapping » espace-temps 23 (MIMO M^{-1}) utilisant un algorithme de type maximum de vraisemblance MV ou ML (pour "Maximum Likelihood"), analysant notamment les rapports de vraisemblance LLR (de l'anglais « log likelihood ratio ») sur chaque bit codé. Un tel module de « demapping » M^{-1} 23 met en œuvre une opération sensiblement inverse de celle du module de « mapping » M 13, et compte N_t sorties, où N_t est le nombre d'antennes d'émission, qui alimentent un module de conversion parallèle/série P/S 24_1, puis un module de désentrelacement 22_1.

Les rapports de vraisemblance issus du module de MIMO demapping M^{-1} 23 sont ensuite améliorés via un décodeur de canal CC^{-1} 21 de type SOVA (de l'anglais « Soft Output Viterbi Algorithm » pour « algorithme de Viterbi à sortie souple ») et envoyés de nouveau au module de « MIMO demapping » M^{-1} 23, après un nouvel entrelacement Π 22_2, et une nouvelle conversion série/parallèle S/P 24_2. Ce processus est réitéré afin d'améliorer les données décodées.

Selon cette technique de réception, on essaye donc de retrouver par maximum de vraisemblance quel symbole de la constellation a été émis sur chacune des antennes. L'utilisation d'un tel récepteur passe par une phase préalable d'initialisation, au cours de laquelle on estime chacun des canaux de transmission entre les N_t antennes d'émission et les N_R antennes de réception en émettant des symboles connus a priori du récepteur.

3. Inconvénients de l'art antérieur

Un inconvénient de cette technique itérative de l'art antérieur est sa complexité de mise en œuvre, du fait de l'utilisation d'un algorithme de type maximum de vraisemblance en réception. En effet, un tel algorithme consiste à calculer de façon exhaustive toutes les séquences de symboles reçus possibles, et

à sélectionner, parmi ces séquences, la plus vraisemblable. La complexité d'un tel algorithme augmente exponentiellement en fonction du nombre d'antennes d'émission, du nombre d'antennes de réception et de la taille de la constellation utilisée (ou encore du nombre d'états de la modulation).

4. Objectifs de l'invention

L'invention a notamment pour objectif de pallier ces inconvénients de l'art antérieur.

Plus précisément, un objectif de l'invention est de fournir une technique de réception pour un système à modulation codée espace-temps qui soit plus simple que la technique de réception itérative proposée par A. M. Tonello dans "Space-Time Bit-Interleaved Coded Modulation with an Iterative Decoding Strategy" (en français "modulations codées espace-temps avec une stratégie de décodage itérative"), Proceedings of VTC Fall'00, Boston, USA, septembre 2000.

Un autre objectif de l'invention est de proposer une telle technique de réception itérative qui soit bien adaptée aux modulations de type ST-BICM et plus généralement aux systèmes de transmission de type MIMO.

L'invention a encore pour objectif de fournir une telle technique qui reste de complexité réduite (qui présente par exemple une complexité linéaire), même lorsque le nombre d'antennes d'émission et/ou de réception est élevé et/ou que la taille de la constellation utilisée est grande.

L'invention a aussi pour objectif de proposer une telle technique qui puisse être implémentée dans des récepteurs d'architecture plus simple que les récepteurs de l'art antérieur. Notamment, un objectif de l'invention est de fournir un récepteur qui comprenne moins de modules élémentaires (du type décodeur de canal, désentrelaceur, etc.) fonctionnant en parallèle qu'il n'existe d'antennes d'émission dans le système.

Un objectif secondaire de l'invention est de fournir une telle technique qui soit aussi bien adaptée aux canaux de transmission ne présentant pas d'interférences entre symboles qu'aux canaux sélectifs en fréquence.

L'invention a enfin pour objectif de proposer une telle technique de

réception qui présente des performances au moins équivalentes à celles des techniques plus complexes de l'art antérieur.

5. Caractéristiques essentielles de l'invention

Ces objectifs, ainsi que d'autres qui apparaîtront par la suite, sont atteints à l'aide d'un procédé de réception d'un signal de données, mettant en œuvre N_R antennes de réception, où N_R est supérieur ou égal à 2, ledit signal de données ayant subi, avant émission, un codage de canal, et étant émis sur N_T antennes d'émission, où N_T est supérieur ou égal à 2, chacune desdites antennes émettant une partie dudit signal, ledit procédé de réception mettant en œuvre une étape d'estimation du canal de transmission entre lesdites antennes d'émission et lesdites antennes de réception.

Selon l'invention, un tel procédé de réception comprend au moins une itération d'amélioration d'une estimation du signal reçu, en fonction dudit signal reçu et d'une estimation précédente dudit signal reçu,

ladite itération comprenant des étapes de :

- filtrage dudit signal reçu, délivrant un signal filtré ;
- détermination d'une interférence affectant ledit signal reçu, mettant en œuvre une multiplication de ladite estimation précédente dudit signal reçu par une matrice représentative d'interférences dues au canal de transmission dudit signal reçu, ladite détermination délivrant une interférence estimée ;
- soustraction de ladite interférence estimée audit signal filtré, de façon à obtenir un signal amélioré ;
- égalisation dudit signal amélioré, délivrant un signal égalisé ;
- estimation, à partir dudit signal égalisé, du signal de données émis, appelé signal estimé.

Ainsi, l'invention repose sur une approche tout à fait nouvelle et inventive de la réception d'un signal de données ayant subi à l'émission un codage de canal, et un multiplexage spatial, dans un système de communications numériques de type MIMO présentant N_t antennes d'émission et N_R antennes de réception.

En effet, l'invention propose une technique de réception beaucoup plus simple que les techniques de l'art antérieur puisque elle ne met pas en œuvre une égalisation MIMO à maximum de vraisemblance ML, comme proposé par Tonello dans l'article précité, mais repose sur une égalisation linéaire à base de filtres. Grâce à cette complexité réduite, elle est donc beaucoup mieux adaptée aux systèmes MIMO présentant un grand nombre d'antennes d'émission et/ou de réception, et aux constellations de grande taille, présentant un nombre d'états de modulation élevé.

En outre, selon la technique de réception de l'invention, il n'est pas nécessaire de réaliser autant de décodages de canal qu'il existe d'antennes d'émission, un seul décodage de canal en bloc étant suffisant.

Enfin, la technique de l'invention est moins complexe qu'une technique de réception itérative adaptée à un système d'émission mettant en œuvre un précodage linéaire du signal de données. On notera en effet que le signal reçu selon l'invention n'a pas subi de précodage avant émission, de sorte que le procédé de réception de l'invention ne met pas en œuvre de "déprécodage" du signal reçu (par "déprécodage" on entend ici et dans toute la suite du document l'opération inverse de l'opération de précodage réalisée à l'émission).

La technique de réception de l'invention repose plus précisément sur une égalisation MIMO linéaire à annulation d'interférences, selon laquelle on reconstruit les interférences affectant le signal reçu, en utilisant notamment le codage de canal, pour ensuite les soustraire au signal filtré, de façon à obtenir un signal amélioré. L'estimation de l'interférence se fait de manière itérative, en prenant en compte une estimation précédente du signal reçu. Le signal amélioré est ensuite égalisé, puis estimé. Cette estimation du signal sert alors à la prochaine itération d'amélioration.

L'estimation des interférences met en œuvre une matrice d'interférences qui, par exemple, tient compte uniquement de la matrice représentative du canal de transmission, par opposition au cas où le signal subirait un précodage linéaire

avant émission, dans lequel la matrice d'interférences serait alors également fonction d'une matrice de déprécodage.

La matrice représentative du canal de transmission, encore appelée matrice équivalente de canal, peut notamment prendre en compte un multiplexage spatial et/ou temporel mis en œuvre à l'émission. Dans un système de type MIMO, elle prend également en compte l'interférence entre symboles due aux différents trajets dans le canal de propagation.

Avantageusement, ledit filtrage dudit signal reçu met en œuvre une multiplication dudit signal reçu par une matrice transposée conjuguée d'une matrice représentative dudit canal de transmission.

De manière préférentielle, la première itération d'amélioration met en œuvre une estimation initiale dudit signal reçu comprenant des étapes de :

- égalisation initiale dudit signal reçu par multiplication d'une matrice d'égalisation globale tenant compte au moins de ladite matrice représentative dudit canal de transmission, délivrant un signal initial égalisé ;
- estimation initiale dudit signal reçu à partir dudit signal initial égalisé.

Il est en effet nécessaire d'initialiser le processus itératif de l'invention, aucun signal M-aire précédemment estimé n'étant encore disponible. Le résultat de cette estimation initiale alimente ensuite les itérations suivantes du procédé.

Préférentiellement, lorsque ledit canal de transmission est sélectif en fréquence, ledit signal de données émis sur chacune desdites antennes d'émission est un signal multiporteuses et ladite itération comprend une étape préliminaire de démodulation multiporteuses sur chacune desdites antennes de réception.

En effet, en réalisant une modulation multiporteuse avant émission et une démodulation multiporteuse en réception, on obtient un canal équivalent à un canal non sélectif en fréquence pour chaque sous-porteuse de la modulation, dans lequel le signal de données ne subit donc pas ou peu d'interférences entre symboles.

Avantageusement, au moins une desdites étapes d'estimation du signal

reçu délivre d'une part une estimation binaire dudit signal reçu, et d'autre part une estimation pondérée dudit signal reçu, ladite estimation pondérée étant utilisée pour l'itération suivante, si cette dernière existe.

En fonction de l'application considérée, on peut extraire et utiliser une telle estimation binaire du signal reçu à chaque itération du procédé (à des fins statistiques par exemple, ou pour alimenter un bloc de traitement particulier), ou seulement à certains rangs de l'itération, par exemple en fin du processus itératif.

Selon une caractéristique préférentielle, un tel procédé de réception comprend également une étape d'estimation d'un bruit affectant ledit canal de transmission, et, lorsque ladite égalisation est de type MMSE ("Minimum Mean Square Error" pour "erreur quadratique moyenne minimale"), ladite matrice d'égalisation globale tient aussi compte dudit bruit estimé.

Selon une variante avantageuse, ladite égalisation est de type "Zero Forcing" (ZF pour "forçage à zéro"), qui constitue une alternative intéressante à l'égalisation MMSE du fait de sa moindre complexité.

De manière avantageuse, un tel procédé de réception comprend également au moins une étape de contrôle automatique de gain (CAG) précédant lesdites étapes d'égalisation, ce qui permet d'améliorer les performances du procédé itératif de l'invention.

L'invention concerne aussi un récepteur d'un signal de données, mettant en œuvre le procédé de réception itératif décrit ci-dessus. Un tel récepteur comprend notamment des moyens d'amélioration d'une estimation du signal reçu, en fonction dudit signal reçu et d'une estimation précédente dudit signal reçu, comprenant au moins deux modules élémentaires pilotés successivement, chacun desdits modules élémentaires comprenant :

- des moyens de filtrage dudit signal reçu, délivrant un signal filtré ;
- des moyens de détermination d'une interférence affectant ledit signal reçu, mettant en œuvre une multiplication de ladite estimation précédente dudit signal reçu par une matrice représentative d'interférences dues au canal de transmission dudit

signal reçu, lesdits moyens de détermination délivrant une interférence estimée ;

- des moyens de soustraction de ladite interférence estimée audit signal filtré, de façon à obtenir un signal amélioré ;
- des moyens d'égalisation dudit signal amélioré, délivrant un signal égalisé ;
- des moyens d'estimation, à partir dudit signal égalisé, du signal de données émis, appelé signal estimé.

L'invention concerne encore un produit programme d'ordinateur comprenant des séquences d'instructions adaptées à la mise en œuvre d'un procédé de réception tel que décrit précédemment lorsque ledit programme est exécuté sur un ordinateur.

6. Liste des figures

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description suivante d'un mode de réalisation préférentiel, donné à titre de simple exemple illustratif et non limitatif, et des dessins annexés, parmi lesquels :

- la figure 1, déjà commentée en relation avec l'art antérieur, présente un synoptique d'un schéma d'émission de type ST-BICM, tel que proposé par Tonello dans l'article précité ;
- la figure 2, également commentée en relation avec l'art antérieur, illustre l'architecture d'un récepteur itératif proposé par Tonello dans l'article précité adapté au schéma d'émission de la figure 1 ;
- la figure 3 présente un synoptique du principe de réception itératif de l'invention ;
- la figure 4 illustre les différents modules élémentaires d'un récepteur mettant en œuvre le principe de réception de la figure 3 ;
- la figure 5 présente le module élémentaire du récepteur de la figure 4 mis en œuvre lors de la première itération d'amélioration de l'estimation du signal reçu ;

- la figure 6 présente un module élémentaire du récepteur de la figure 4 mis en œuvre lors d'une itération d'amélioration suivante ;
- les figures 7 et 8 présentent respectivement des variantes des schémas d'émission et de réception dans le cas d'un canal sélectif en fréquence ;
- la figure 9 illustre la notion de canal de transmission dans un système de type MIMO ;
- la figure 10 présente les performances d'un récepteur itératif de l'invention.

7. Description d'un mode de réalisation de l'invention

Le principe général de l'invention repose sur une réception itérative d'un signal de données, ayant subi un codage de canal (mais pas de précodage), dans un système de type MIMO, mettant en œuvre une estimation itérative des interférences engendrées par le codage de canal. L'interférence estimée, reconstruite à partir d'une estimation précédente, est ensuite soustraite au signal reçu, de manière à éliminer sa contribution. On procède ainsi à une égalisation linéaire du signal reçu, qui est peu complexe à implémenter.

On notera que les éléments figurant sur les figures 1 à 9 sont référencés de la manière suivante : le premier chiffre de référence indique le numéro de la figure. Les chiffres suivants de la référence désignent l'élément au sein de la figure, un même élément étant généralement numéroté de la même façon dans les différentes figures. A titre d'exemple, un bloc d'estimation de symboles 36 dans la figure 3 est désigné par la référence 56 dans la figure 5 et par la référence 66 dans la figure 6.

On présente, en relation avec la figure 3, le principe de réception itératif de l'invention.

Un signal **r** est reçu sur N_R antennes de réception référencées 35_1 à 35_{N_R}.Un tel signal a subi, à l'émission, un codage de canal et un multiplexage spatial, et a été émis sur N_t antennes d'émission, où $N_R \geq N_t$, comme illustré par exemple sur la figure 2 décrite précédemment. Chaque antenne de réception 35_1 à 35_{N_R} reçoit une combinaison linéaire des symboles émis sur chacune des N_t antennes d'émission.

On suppose tout d'abord, dans l'exemple de la figure 3, que le canal MIMO est non sélectif en fréquence, de sorte que le signal n'est pas affecté par des interférences entre symboles (IES, ou en anglais ISI pour "Inter Symbol Interference"). On décrira par la suite en relation avec les figures 7 et 8 une variante de réalisation de l'invention dans le cas où cette hypothèse n'est pas vérifiée.

Le procédé de réception de l'invention consiste à procéder de manière itérative et à réaliser tout d'abord une égalisation MIMO 30, puis une estimation de symboles 36.

A l'initialisation du système de réception de la figure 3, on peut par exemple émettre sur les N_t antennes d'émission des symboles connus a priori du récepteur, afin d'estimer les fonctions de transfert des différents canaux de transmission entre chacune des N_t antennes d'émission et N_R antennes de réception. Le résultat de cette estimation de canal 37 alimente alors le bloc d'égalisation MIMO 30. Une telle estimation de canal est réalisée au moyens d'algorithmes classiques bien connus de l'Homme du Métier qui ne sont donc pas décrits ici plus en détail.

Un tel bloc d'égalisation MIMO 30 peut utiliser différentes techniques d'égalisation, qui seront décrites plus en détail dans la suite de ce document. Lorsque la technique mise en œuvre dans le bloc d'égalisation référencé 30 est de type MMSE (pour "Minimum Mean Square Error", "erreur quadratique moyenne minimum"), il est également nécessaire de fournir à ce bloc d'égalisation 30 une estimation du bruit 38 (sous la forme d'un rapport signal à bruit (ou SNR) par exemple). Une telle estimation du bruit est également classique et bien connue de l'Homme du Métier et la méthode utilisée pour cette estimation ne sera donc pas décrite ici plus en détails.

Le bloc d'égalisation MIMO 30 délivre en sortie un signal M-aire égalisé $\tilde{s}$. On rappelle que par signal M-aire on entend une suite de symboles complexes appartenant à une constellation (de type QPSK, 16QAM, etc.).

Ce signal égalisé $\tilde{s}$ alimente ensuite un bloc d'estimation de symboles 36,

au sein duquel il subit des opérations de "demapping" M^{-1} 33_1, de désentrelacement Π^{-1} 32_1 et de décodage de canal CC^{-1} 31. En sortie de cette estimation de symboles 36, on obtient un signal binaire estimé $\hat{d}$, qui peut ou non être exploité, selon l'application envisagée.

Le procédé étant itératif, on fait subir à ce signal binaire estimé $\hat{d}$ un nouvel entrelacement Π 32_2 et un nouveau "mapping" M 33_2, afin d'obtenir un signal M-aire estimé $\hat{s}$, que l'on peut réinjecter dans le bloc 30 d'égalisation MIMO pour une itération suivante d'amélioration de l'estimation du signal reçu. Ce signal $\hat{s}$ peut aussi être extrait pour subir des traitements successifs lorsqu'on met fin aux itérations successives du procédé de réception, une qualité de signal suffisante ayant été atteinte (par exemple au bout de 5 itérations, comme illustré par les courbes de simulation de la figure 10).

La figure 4 illustre plus précisément l'architecture d'un récepteur selon l'invention. Un tel récepteur est de type itératif, et est constitué de p modules élémentaires (p>1) référencés *Ite*1, *Ite*2 à *Ite*p.

Comme décrit précédemment en relation avec la figure 3, un signal **r** est reçu sur les N_R antennes de réception du système MIMO considéré. Il alimente le premier module élémentaire *Ite*1 du récepteur, illustré en figure 5, dans lequel il subit la première itération (p=1) du procédé de réception de l'invention. Cette première itération consiste en une phase d'initialisation, aucun signal M-aire estimé n'étant encore disponible, et comprend donc les étapes suivantes :

- on procède tout d'abord à l'égalisation globale 50 du signal reçu **r** par multiplication par une matrice d'égalisation globale $\left(\mathbf{G}+\sigma^2 I\right)^{1} H^{H}$, où **H** désigne la matrice représentative du canal de transmission, $\sigma^2 = 1/SNR$ est la variance du bruit équivalent, également égale à l'inverse du rapport signal à bruit moyen observé sur chaque antenne de réception (SNR), et où $\mathbf{G} = \cdot\mathbf{H}^{H} \cdot \mathbf{H}$ est une matrice d'égalisation globale. Cette égalisation 50 délivre un signal M-aire égalisé $\tilde{\mathbf{s}}^{(1)}$. On notera qu'on considère ici une égalisation de type MMSE, d'autres types d'égalisation étant décrits plus loin dans ce document ;

- le signal M-aire égalisé $\tilde{\mathbf{s}}^{(1)}$ alimente ensuite un bloc d'estimation 56 du signal binaire et du signal M-aire qui, à partir du signal M-aire égalisé, délivre un signal binaire estimé $\hat{\mathbf{d}}^{(1)}$ (qui peut ne pas être exploité, et n'est donc pas forcément disponible en sortie) et un signal M-aire estimé $\hat{\mathbf{s}}^{(1)}$.

Le signal M-aire estimé $\hat{\mathbf{s}}^{(1)}$ est ensuite injecté dans le module élémentaire suivant *Ite*2. La figure 6 illustre la structure d'un module élémentaire *Ite*p, où p>1, qui comprend un premier bloc 60 d'égalisation globale et un deuxième bloc 66 d'estimation de symboles.

Le bloc d'égalisation globale 60 reçoit en entrée le signal M-aire estimé $\hat{\mathbf{s}}^{(p-1)}$ issu de l'itération précédente et le signal reçu $\mathbf{r}$. Il réalise les opérations suivantes :

- filtrage adapté 60_2 du signal reçu $\mathbf{r}$ par application de la matrice transconjuguée du canal $\mathbf{H}^H$ délivrant un signal filtré ;
- création 60_1 des interférences à partir d'un signal M-aire estimé précédent $\hat{\mathbf{s}}^{(p-1)}$ par multiplication à gauche de ce signal M-aire estimé précédent par une matrice d'interférences $\mathbf{J} = \mathbf{G} - diag(\mathbf{G})$. Plus généralement, cette matrice d'interférences doit au moins tenir compte de la matrice de canal $\mathbf{H}$;
- soustraction des interférences obtenues en sortie du bloc référencé 60_1 au signal filtré obtenu en sortie du bloc de filtrage 60_2 pour obtenir un signal amélioré ;
- égalisation 60_3 du signal amélioré délivrant un signal M-aire égalisé $\tilde{\mathbf{s}}^{(p)}$ par application de la matrice $\left(diag(\mathbf{G}) + \sigma^2\mathbf{I}\right)^{-1}$. Plus généralement, cette matrice d'égalisation doit au moins tenir compte de la matrice de canal $\mathbf{H}$.

Le signal M-aire égalisé $\tilde{\mathbf{s}}^{(p)}$ alimente ensuite le bloc d'estimation 66 qui réalise l'estimation :

- du signal binaire émis, appelé signal binaire estimé $\hat{\mathbf{d}}^{(p)}$;
- du signal M-aire émis appelé signal M-aire estimé $\hat{\mathbf{s}}^{(p)}$.

Le mode de réalisation décrit ci-dessus repose sur la mise en œuvre d'une égalisation de type MMSE. Cependant d'autres types d'égalisation peuvent

également être utilisées dans le cadre de l'invention. Ainsi, l'égalisation ZF (pour "Zero Forcing", "forçage à zéro") constitue une alternative intéressante car moins complexe. Dans ce cas, le bloc d'égalisation 50 du premier module élémentaire *Ite*1 pour la première itération met en œuvre l'égalisation du signal reçu **r** par multiplication d'une matrice d'égalisation globale $\mathbf{G}^{-1}H^{H}$ (qui tient donc compte au moins de la matrice du canal **H**, mais plus du bruit) et délivre un signal M-aire égalisé $\tilde{\mathbf{s}}^{(1)}$. De même, dans les modules élémentaires *Ite*p, où p>1, le bloc d'égalisation 60_3 du signal amélioré procède désormais à l'égalisation du signal amélioré par application de la matrice $(diag(\mathbf{G}))^{-1}$, pour délivrer en sortie un signal M-aire égalisé $\tilde{\mathbf{s}}^{(p)}$.

Les autres blocs fonctionnels du récepteur décrit précédemment dans le cadre d'une égalisation MMSE demeurent inchangés.

On peut également prévoir l'utilisation d'égalisations de type MRC ("Maximum Ratio Combining") ou EGC ("Equal Gain Combining"), qui sont bien connues de la littérature.

Il est encore possible d'améliorer les performances du procédé itératif de l'invention en mettant en œuvre un contrôle automatique de gain (CAG), avant les étapes d'égalisation décrites précédemment.

Le CAG a notamment pour but de normaliser l'énergie du signal pour la rendre unitaire, et de minimiser la propagation d'erreurs dans les itérations. Dans l'invention, cette normalisation de l'énergie se fait en parallèle pour les signaux reçus sur chacune des N_R antennes de réception.

Ainsi, un signal x_k en entrée d'un tel CAG est transformé en un signal y_k de la façon suivante :

$$y_k = \alpha_k \cdot x_k$$

Le coefficient α_k peut notamment être déterminé par :

$$\begin{cases} G_k = G_{k-1} + \mu\left(1 - |y_k|^2\right) \\ \alpha_k = \sqrt{G_k} \end{cases}$$

où μ est le pas d'adaptation, et où G_k est une variable temporaire.

Comme indiqué précédemment, le mode de réalisation décrit jusqu'à

présent s'appliquait à un canal MIMO non sélectif en fréquence, dans lequel le signal de données ne subissait pas ou peu d'interférences entre symboles. On décrit désormais en relation avec les figures 7 et 8 une variante de réalisation de l'invention dans le cas où cette hypothèse n'est pas vérifiée.

Lorsque le canal est sélectif en fréquence, on prévoit l'utilisation d'une modulation multi-porteuses telle que l'OFDM ("Orthogonal Frequency Division Multiplexing") (décrite par exemple par B. Le Floch, M. Alard et C. Berrou, dans "Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex", Proceedings of the IEEE, Vol. 83, N° 6, juin 1995). En effet, un canal à évanouissement plat en fréquence est équivalent à un canal multitrajets (à évanouissements en fréquence) pour lequel on a procédé à une modulation OFDM du signal.

On pourrait également utiliser tout autre type de modulation multiporteuse, telle qu'une modulation mettant en œuvre la fonction prototype IOTA, décrite par exemple dans le document de brevet européen EP 0 824 812.

Le schéma d'émission utilisé est alors celui de la figure 7. Il diffère du schéma d'émission décrit précédemment en relation avec la figure 1 uniquement en ce qu'après la conversion série/parallèle S/P 14, 74, et avant émission du signal sur chacune des N_t antennes d'émission 15_1 à 15_{Nt}, 75_1 à 75_{Nt}, on procède à une modulation multiporteuse de type OFDM 79 sur chacune des voies d'émission. Les autres blocs étant identiques, ils ne sont pas décrits ici plus en détails.

Selon cette variante, le récepteur de l'invention est modifié selon le schéma de la figure 8. Il diffère du récepteur de la figure 3 uniquement en ce que le signal reçu sur chacune des N_R antennes d'émission 85_1 à 85_{N_R}, avant égalisation 80, subit une démodulation OFDM 89, notée $OFDM^{-1}$. Les autres blocs sont identiques à ceux de la figure 3 et ne sont donc pas décrits ici plus en détails.

Par exemple, le bloc de modulation OFDM 79 de la figure 7 prend N_{FFT} symboles et rend un bloc de $N_{FFT} + \Delta$ symboles, où Δ désigne l'intervalle de garde de la modulation OFDM. L'opération duale $OFDM^{-1}$ 89 est effectuée en réception. A la condition que l'intervalle de garde Δ soit bien dimensionné (i.e. qu'il soit supérieur au retard maximal τ_{max} du canal), le canal équivalent

correspondant à l'ensemble constitué du modulateur OFDM 79, du canal de propagation MIMO et du démodulateur $OFDM^{-1}$ 89 est équivalent à un canal non sélectif en fréquence pour chaque sous-porteuse. Il suffit donc d'appliquer le récepteur itératif proposé pour chaque sous-porteuse, comme exposé plus en détail ci-dessous.

On utilise les notations suivantes :

$\mathbf{d}$: signal binaire

$\mathbf{H}(k)$: Matrice du canal pour la sous-porteuse k

$\mathbf{G}(k) = \cdot\mathbf{H}^{H}(k) \cdot \mathbf{H}(k)$: matrice globale

$\mathbf{J}(k) = \mathbf{G}(k) - diag(\mathbf{G}(k))$: matrice d'interférences

$\tilde{\mathbf{s}}^{(p)}(k)$: signal M-aire égalisé à l'itération p pour la sous-porteuse k

$\hat{\mathbf{s}}^{(p)}$(k) : signal M-aire estimé à l'itération p pour la sous-porteuse k

$\hat{\mathbf{d}}^{(p)}$: signal binaire estimé à l'itération p

$\mathbf{r}(k)$: signal reçu après démodulation OFDM sur la sous-porteuse k

$\sigma^2 = 1/SNR$: variance du bruit équivalent, également égal à l'inverse du rapport signal à bruit moyen observé sur chaque antenne (SNR)

Pour la première itération (p=1), puisque qu'aucun signal M-aire estimé n'est disponible, on procède à une étape d'initialisation qui comprend, pour chaque porteuse k, des sous-étapes de :

- égalisation 50 du signal reçu par multiplication d'une matrice d'égalisation globale $\left(\mathbf{G}(k) + \sigma^2 I\right)^{-1} H^{H}(k)$ délivrant un signal M-aire égalisé $\tilde{\mathbf{s}}^{(1)}$(k) ;
- estimation 56 du signal binaire à partir du signal M-aire égalisé $\tilde{\mathbf{s}}^{(1)}$(k) délivrant un signal binaire estimé $\hat{\mathbf{d}}^{(1)}$;
- estimation 56 du signal M-aire à partir du signal égalisé $\tilde{\mathbf{s}}^{(1)}$(k) délivrant un signal Maire estimé $\hat{\mathbf{s}}^{(1)}(k)$.

Pour les itérations suivantes (p>1), on réalise, pour chaque porteuse k, des étapes de :

- filtrage adapté 60_2 du signal reçu $\mathbf{r}(k)$ par application de la matrice transconjuguée du canal $\mathbf{H}^{H}(k)$ délivrant un signal filtré ;

- création 60_1 des interférences à partir d'un signal M-aire estimé précédent $\hat{\mathbf{s}}^{(p-1)}(k)$ par multiplication à gauche dudit signal M-aire estimé précédent par une matrice d'interférences $\mathbf{J}(k)$ tenant compte au moins de la matrice de canal $\mathbf{H}(k)$;
- soustraction des interférences au signal filtré délivrant un signal amélioré ;
- égalisation 60_3 du signal amélioré délivrant un signal M-aire égalisé $\tilde{\mathbf{s}}^{(p)}(k)$ par application de la matrice $\left(diag(\mathbf{G}(k))+\sigma^2\mathbf{I}\right)^{-1}$ tenant compte au moins de la matrice de canal $\mathbf{H}(k)$;
- estimation 66 à partir du signal M-aire égalisé du signal binaire émis appelé signal binaire estimé $\hat{\mathbf{d}}^{(p)}$;
- estimation 66 à partir du signal égalisé du signal M-aire émis appelé signal M-aire estimé $\hat{\mathbf{d}}^{(p)}$.

On présente désormais, en relation avec la figure 9, un exemple de réalisation du récepteur de l'invention adapté à un schéma d'émission de type ST-BICM. On utilise $N_t = 4$ antennes d'émission, référencées 95_1, 95_2, 95_3 et 95_4 et $N_R = 4$ antennes de réception référencées 95_5, 95_6, 95_7 et 95_8. Le canal est à évanouissement plat.

La matrice de canal utilisé par le système itératif est la suivante :

$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{21} & h_{31} & h_{41} \\ h_{12} & h_{22} & h_{32} & h_{42} \\ h_{13} & h_{23} & h_{33} & h_{43} \\ h_{14} & h_{24} & h_{34} & h_{44} \end{bmatrix}$, où, comme illustré sur la figure 9, h_{ij} désigne le trajet séparant l'antenne d'émission d'indice i de l'antenne de réception d'indice j.

L'estimation de symbole 36, 86 s'effectue de la façon suivante :

- conversion M-aire/binaire M^{-1} 33_1, 83_1 délivrant des rapports de vraisemblances sur le signal binaire codé entrelacé ;
- désentrelacement Π^{-1} 32_1, 82_1 (identique à l'entrelacement Π 12, 72 réalisé à l'émission) délivrant des rapports de vraisemblances sur le signal binaire codé ;
- décodage de canal CC^{-1} 31, 81 délivrant un signal binaire estimé ainsi que des vraisemblances a posteriori sur le signal binaire codé ;

- entrelacement Π 32_2, 82_2 des rapports de vraisemblances a posteriori sur le signal binaire codé délivrant des rapports de vraisemblances a posteriori sur le signal binaire codé entrelacé ;
- conversion binaire/M-aire (mapping) M 33_2, 83_2 délivrant un signal estimé $\hat{s}$.

La figure 10 présente les performances du procédé de réception de l'invention obtenues par simulation à partir d'un codeur de canal convolutif de type K=7, où K est la longueur de contrainte du code, et d'une constellation de type QPSK ("Quadrature Phase Shift Keying" pour "modulation par décalage de phase en quadrature"). L'efficacité spectrale est donc de $\eta = 4$ bits/s/Hz.

Plus précisément, la figure 10 présente cinq courbes référencées 101 à 105 illustrant le taux d'erreur binaire (BER pour "Bit Error Rate") en fonction du rapport Eb/N0 (correspondant au rapport entre l'énergie dépensée par bit transmis et la densité spectrale du bruit blanc) exprimé en décibels (dB) pour les cinq premières itérations du récepteur de l'invention. Ainsi, la courbe référencée 101 correspond à la première itération, la courbe référencée 102 correspond à la deuxième itération et ainsi de suite jusqu'à la courbe référencée 105 qui correspond à la cinquième itération du récepteur itératif de l'invention.

La courbe référencée 106 sur la figure 10 correspond quant à elle à la courbe de performance théorique optimale pour un système de réception d'un signal de type ST-BICM.

Comme l'illustre la figure 10, le récepteur de l'invention présente des performances satisfaisantes puisqu'il converge au bout de quatre itérations environ. La convergence est par ailleurs relativement rapide. A Eb/N0 = 4 dB environ, le processus converge vers la courbe optimale 106 (ce qui est illustré par le rapprochement des courbes référencées 105 et 106), ce qui montre que le récepteur de l'invention est très performant.

Un récepteur de type ML (tel que proposé par Tonello par exemple et illustré en figure 2) ne peut par ailleurs pas dépasser la limite de performances illustrée par la courbe référencée 106 : on en déduit donc que les performances du

récepteur de l'invention à haut rapport signal à bruit sont équivalentes à celles que donnerait le récepteur de l'art antérieur proposé par Tonello, et ce, avec une complexité moindre.

On notera que l'invention ne se limite pas à une implantation purement matérielle mais qu'elle peut aussi être mise en œuvre sous la forme d'une séquence d'instructions d'un programme informatique ou toute forme mixant une partie matérielle et une partie logicielle. Dans le cas où l'invention est implantée partiellement ou totalement sous forme logicielle, la séquence d'instructions correspondante pourra être stockée dans un moyen de stockage amovible (tel que par exemple une disquette, un CD-ROM ou un DVD-ROM) ou non, ce moyen de stockage étant lisible partiellement ou totalement par un ordinateur ou un microprocesseur.

REVENDICATIONS

1. Procédé de réception d'un signal de données, mettant en œuvre N_R antennes de réception, où N_R est supérieur ou égal à 2,

ledit signal de données ayant subi, avant émission, un codage de canal, et étant émis sur N_T antennes d'émission, où N_T est supérieur ou égal à 2, chacune desdites antennes émettant une partie dudit signal,

ledit procédé de réception mettant en œuvre une étape d'estimation du canal de transmission entre lesdites antennes d'émission et lesdites antennes de réception,

caractérisé en ce qu'il comprend au moins une itération d'amélioration d'une estimation du signal reçu, en fonction dudit signal reçu et d'une estimation précédente dudit signal reçu,

ladite itération comprenant des étapes de :

- filtrage dudit signal reçu, délivrant un signal filtré ;
- détermination d'une interférence affectant ledit signal reçu, mettant en œuvre une multiplication de ladite estimation précédente dudit signal reçu par une matrice représentative d'interférences dues au canal de transmission dudit signal reçu, ladite détermination délivrant une interférence estimée ;
- soustraction de ladite interférence estimée audit signal filtré, de façon à obtenir un signal amélioré ;
- égalisation dudit signal amélioré, délivrant un signal égalisé ;
- estimation, à partir dudit signal égalisé, du signal de données émis, appelé signal estimé.

2. Procédé de réception selon la revendication 1, caractérisé en ce que ledit filtrage dudit signal reçu met en œuvre une multiplication dudit signal reçu par une matrice transposée conjuguée d'une matrice représentative dudit canal de transmission.

3. Procédé de réception selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que la première itération d'amélioration met en œuvre une estimation initiale dudit signal reçu comprenant des étapes de :

- égalisation initiale dudit signal reçu par multiplication d'une matrice d'égalisation globale tenant compte au moins de ladite matrice représentative dudit canal de transmission, délivrant un signal initial égalisé ;
- estimation initiale dudit signal reçu à partir dudit signal initial égalisé.

4. Procédé de réception selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que, lorsque ledit canal de transmission est sélectif en fréquence, ledit signal de données émis sur chacune desdites antennes d'émission est un signal multiporteuses et en ce que ladite itération comprend une étape préliminaire de démodulation multiporteuses sur chacune desdites antennes de réception.

5. Procédé de réception selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'au moins une desdites étapes d'estimation du signal reçu délivre d'une part une estimation binaire dudit signal reçu, et d'autre part une estimation pondérée dudit signal reçu, ladite estimation pondérée étant utilisée pour l'itération suivante, si cette dernière existe.

6. Procédé de réception selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'il comprend également une étape d'estimation d'un bruit affectant ledit canal de transmission, et en ce que, lorsque ladite égalisation est de type MMSE ("Minimum Mean Square Error" pour "erreur quadratique moyenne minimale"), ladite matrice d'égalisation globale tient aussi compte dudit bruit estimé.

7. Procédé de réception selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que ladite égalisation est de type "Zero Forcing" (ZF pour "forçage à zéro").

8. Procédé de réception selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce qu'il comprend également au moins une étape de contrôle automatique de gain (CAG) précédant lesdites étapes d'égalisation.

9. Récepteur d'un signal de données, comprenant N_R antennes de réception, où N_R est supérieur ou égal à 2,

ledit signal de données ayant subi, avant émission, un codage de canal, et étant

émis sur N_T antennes d'émission, où N_T est supérieur ou égal à 2, chacune desdites antennes émettant une partie dudit signal,

ledit récepteur comprenant des moyens d'estimation d'un canal de transmission entre lesdites antennes d'émission et lesdites antennes de réception,

caractérisé en ce qu'il comprend des moyens d'amélioration d'une estimation du signal reçu, en fonction dudit signal reçu et d'une estimation précédente dudit signal reçu, comprenant au moins deux modules élémentaires pilotés successivement, chacun desdits modules élémentaires comprenant :

- des moyens de filtrage dudit signal reçu, délivrant un signal filtré ;
- des moyens de détermination d'une interférence affectant ledit signal reçu, mettant en œuvre une multiplication de ladite estimation précédente dudit signal reçu par une matrice représentative d'interférences dues au canal de transmission dudit signal reçu, lesdits moyens de détermination délivrant une interférence estimée ;
- des moyens de soustraction de ladite interférence estimée audit signal filtré, de façon à obtenir un signal amélioré ;
- des moyens d'égalisation dudit signal amélioré, délivrant un signal égalisé ;
- des moyens d'estimation, à partir dudit signal égalisé, du signal de données émis, appelé signal estimé.

10. Produit programme d'ordinateur caractérisé en ce qu'il comprend des séquences d'instructions adaptées à la mise en œuvre d'un procédé de réception selon l'une quelconque des revendications 1 à 8 lorsque ledit programme est exécuté sur un ordinateur.

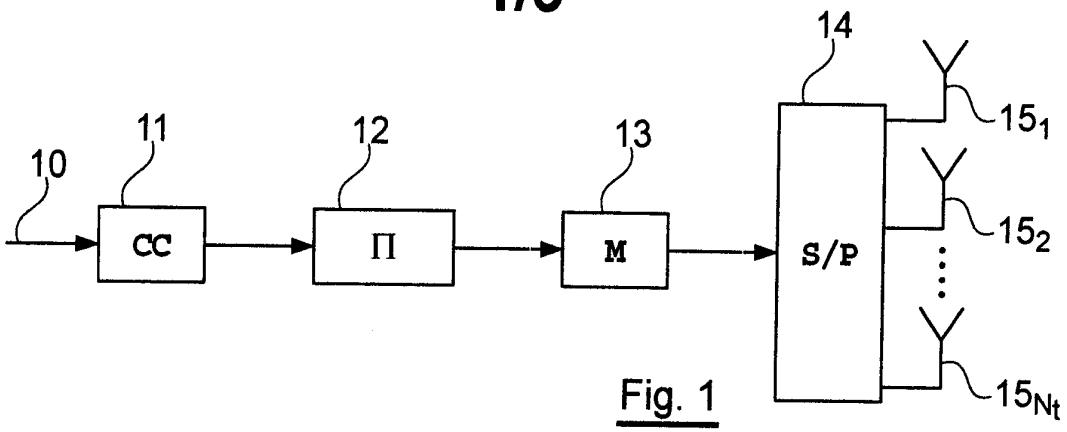

10
11
CC
12
Π
13
M
14
S/P
15₁
15₂
15Nt

Fig. 1

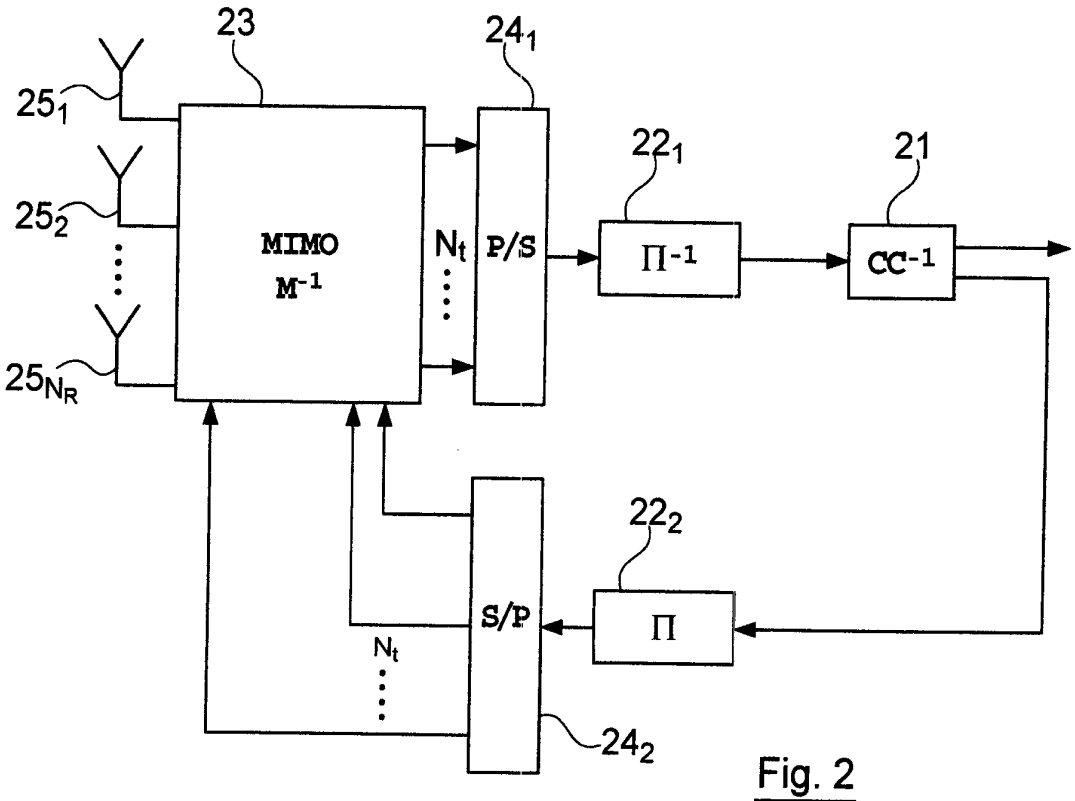

23
24₁
25₁
25₂
25NR
MIMO
M-1
Nt
P/S
22₁
Π-1
21
CC-1
22₂
S/P
Π
Nt
24₂

Fig. 2

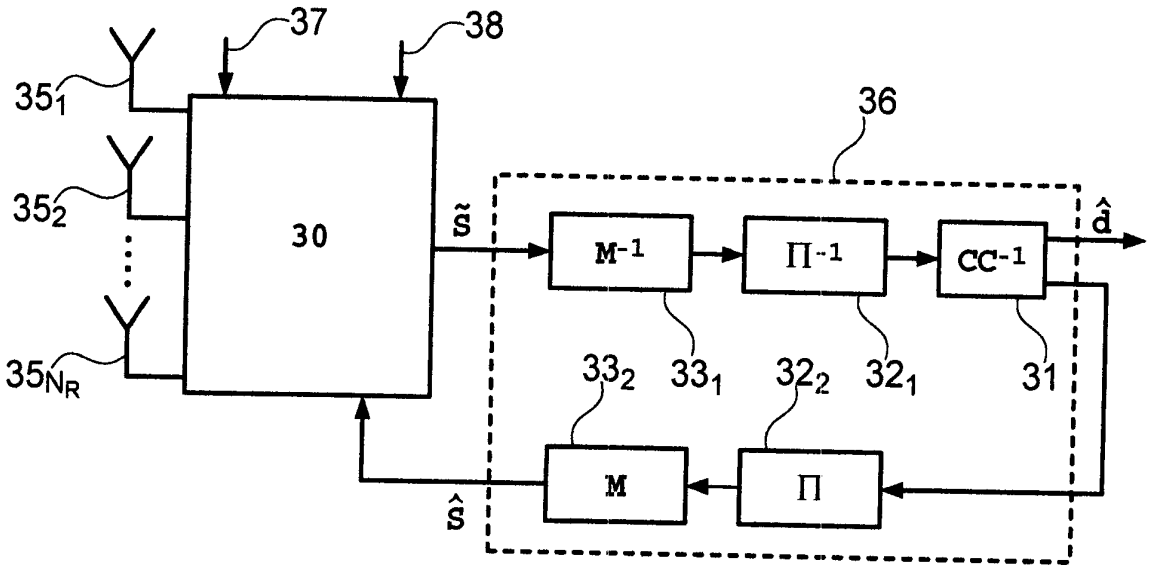

37
38
35_1
35_2
35_{N_R}
30
36
$\tilde{s}$
M^{-1}
Π^{-1}
CC^{-1}
$\hat{d}$
33_2
33_1
32_2
32_1
31
M
Π
$\hat{s}$

Fig. 3

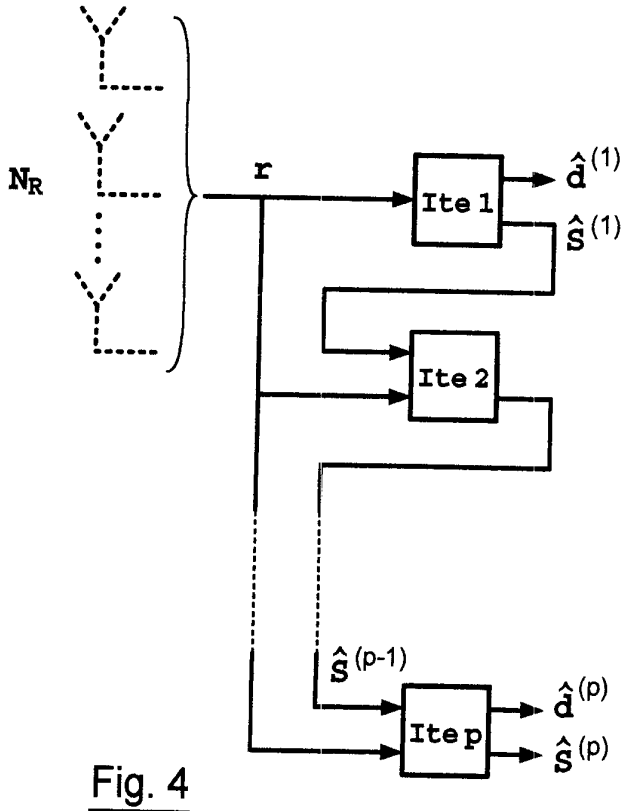

N_R
r
Ite 1
$\hat{d}^{(1)}$
$\hat{s}^{(1)}$
Ite 2
$\hat{s}^{(p-1)}$
Ite p
$\hat{d}^{(p)}$
$\hat{s}^{(p)}$

Fig. 4

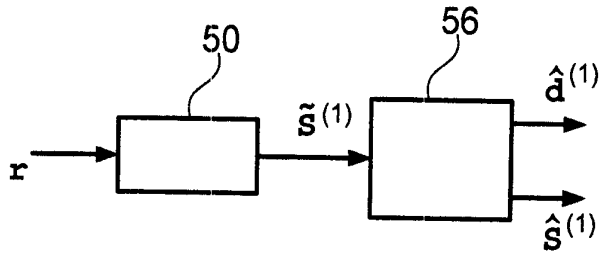


Fig. 5

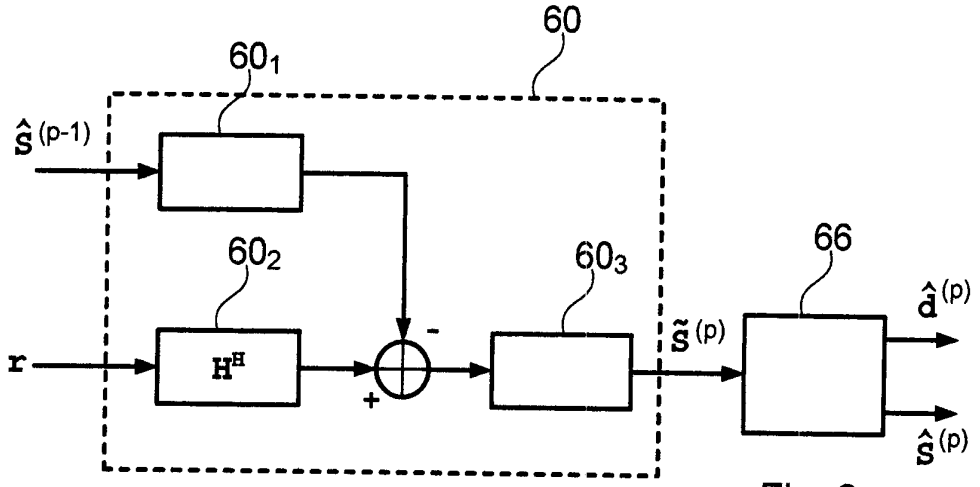


Fig. 6

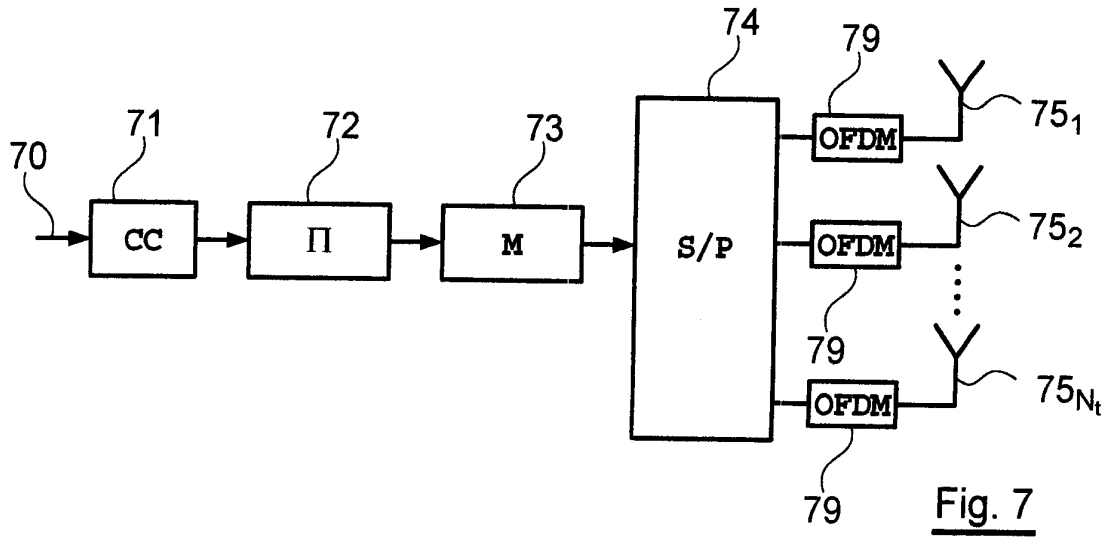


Fig. 7

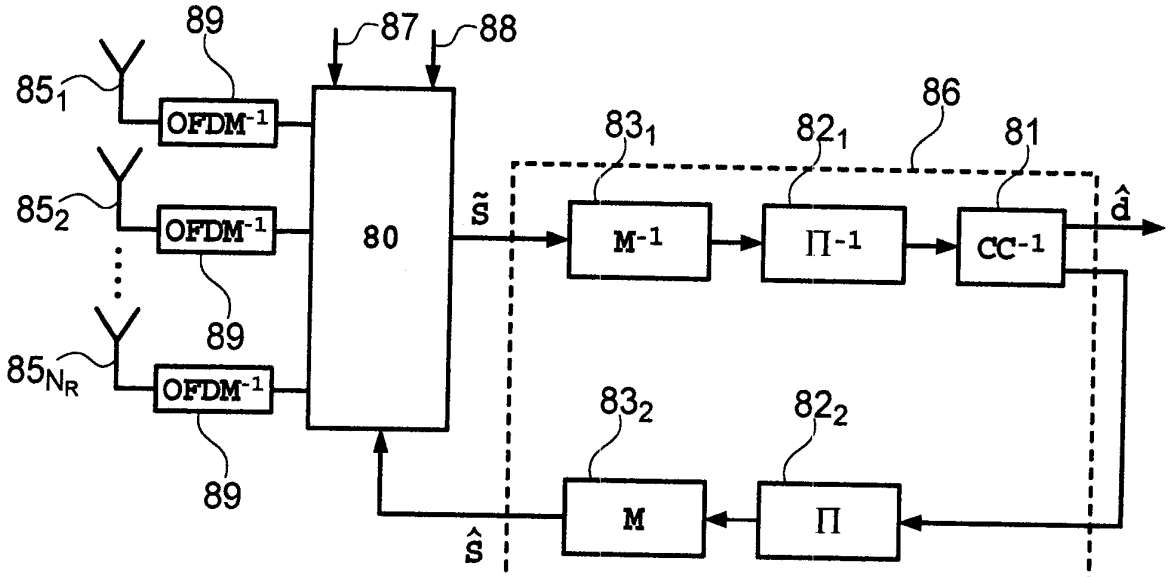

89
87
88
85_1
OFDM^{-1}
85_2
OFDM^{-1}
80
$\tilde{s}$
83_1
82_1
86
81
M^{-1}
Π^{-1}
CC^{-1}
$\hat{d}$
89
85_{N_R}
OFDM^{-1}
89
83_2
82_2
M
Π
$\hat{s}$

Fig. 8

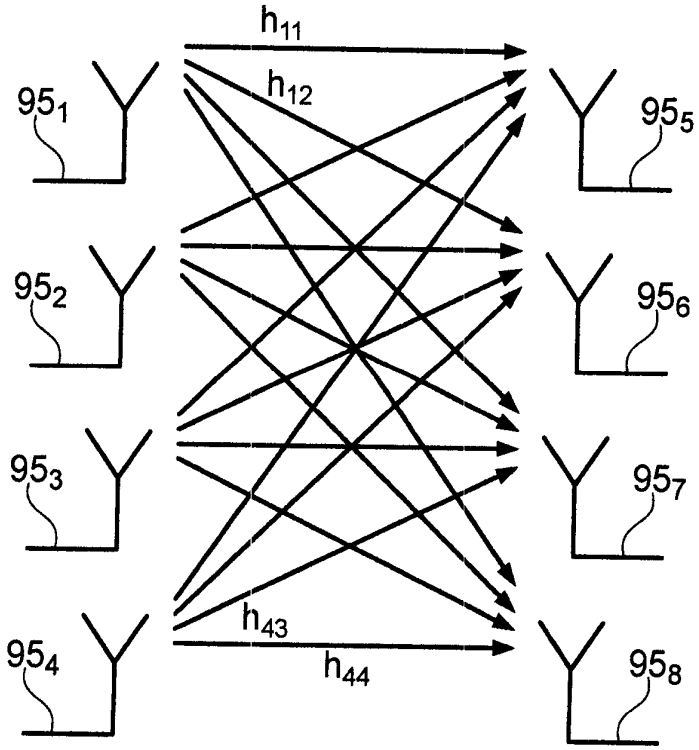

h_{11}
h_{12}
95_1
95_5
95_2
95_6
95_3
95_7
h_{43}
95_4
h_{44}
95_8

Fig. 9

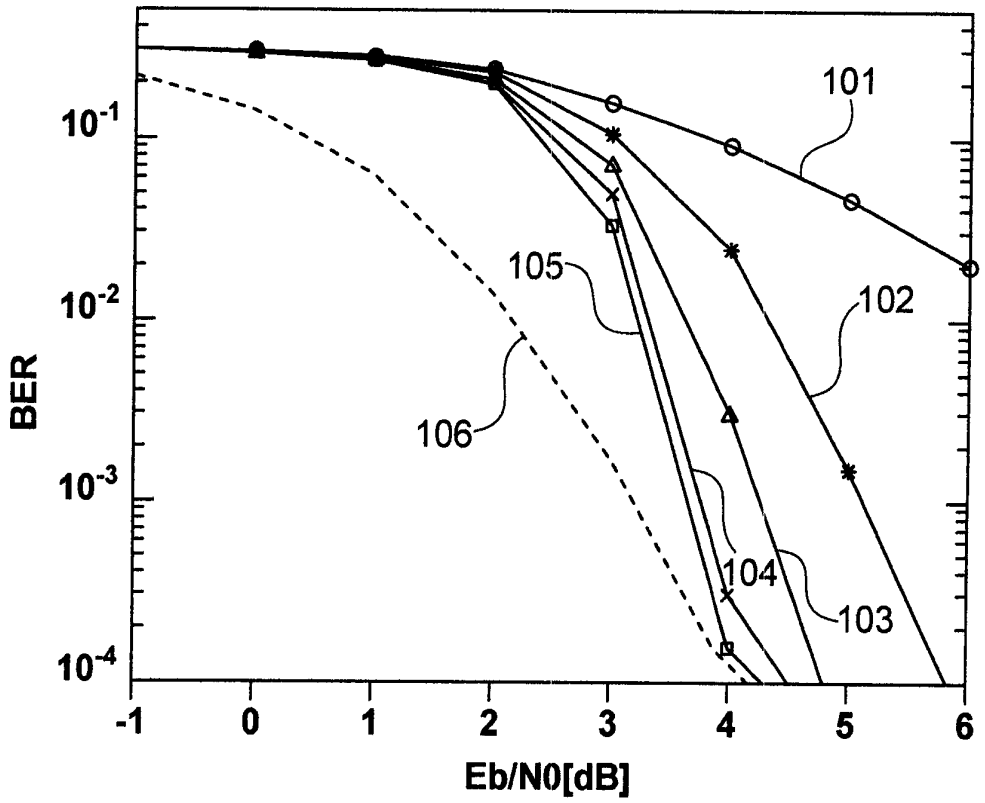


Fig. 10

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIETE INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement national

FA 660878
FR 0411787

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	US 6 813 219 B1 (BLACKMON FLETCHER A) 2 novembre 2004 (2004-11-02) * abrégé * * colonne 4, ligne 45 - colonne 7, ligne 13 * * figures 1,2 *	1-3,5,9, 10	H04L27/32 H04L27/26 H04L27/01
Y		4,6-8	
X	US 2004/161058 A1 (EBIKO KEISUKE ET AL) 19 août 2004 (2004-08-19) * abrégé * * page 1, alinéa 20 - page 2, alinéa 24 * * figure 1 *	1-3,5,9, 10	
Y	KADEL G: "Diversity and equalization in frequency domain a robust and flexible receiver technology for broadband mobile communication systems" VEHICULAR TECHNOLOGY CONFERENCE, 1997, IEEE 47TH PHOENIX, AZ, USA 4-7 MAY 1997, NEW YORK, NY, USA,IEEE, US, vol. 2, 4 mai 1997 (1997-05-04), pages 894-898, XP010228972 ISBN: 0-7803-3659-3 * le document en entier *	4	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (Int.CL.7) H04L H04B
Y	EP 1 453 262 A (MITSUBISHI ELECTRIC INFORMATION TECHNOLOGY CENTRE EUROPE B.V; MITSUBIS) 1 septembre 2004 (2004-09-01) * abrégé * * figure 2 *	6	
	-/--		

Date d'achèvement de la recherche	Examinateur
30 juin 2005	Toumpoulidis, T

CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS

X : particulièrement pertinent à lui seul
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie
A : arrière-plan technologique
O : divulgation non-écrite
P : document intercalaire

T : théorie ou principe à la base de l'invention
E : document de brevet 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

1

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIETE INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement national

FA 660878
FR 0411787

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		
Y	XIAOQIANG MA ET AL: "An em-based channel estimation algorithm for space-time and space-frequency block coded ofdm" 2003 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ACOUSTICS, SPEECH, AND SIGNAL PROCESSING. PROCEEDINGS. (ICASSP). HONG KONG, APRIL 6 - 10, 2003, IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ACOUSTICS, SPEECH, AND SIGNAL PROCESSING (ICASSP), NEW YORK, NY : IEEE, US, vol. VOL. 1 OF 6, 6 avril 2003 (2003-04-06), pages IV389-IV392, XP010641178 ISBN: 0-7803-7663-3 * le document en entier *	7	

Y	WO 2004/057765 A (TEXAS INSTRUMENTS SUNNYVALE INCORPORATED; SINGH, MANONEET; ARIYAVISITA) 8 juillet 2004 (2004-07-08) * page 13, ligne 4 - ligne 24 * * figure 1 *	8	
	-----		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (Int.CL.7)

Date d'achèvement de la recherche	Examinateur
30 juin 2005	Toumpoulidis, T

CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS

X : particulièrement pertinent à lui seul
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie
A : arrière-plan technologique
O : divulgation non-écrite
P : document intercalaire

T : théorie ou principe à la base de l'invention
E : document de brevet 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

1

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0411787 FA 660878

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 30-06-2005
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
US 6813219 B1	02-11-2004	AUCUN	
US 2004161058 A1	19-08-2004	JP 2003249918 A	05-09-2003
		AU 2003211475 A1	09-09-2003
		EP 1480351 A1	24-11-2004
		CN 1511388 A	07-07-2004
		WO 03071712 A1	28-08-2003
EP 1453262 A	01-09-2004	EP 1453262 A1	01-09-2004
		JP 2004343702 A	02-12-2004
		US 2004228423 A1	18-11-2004
WO 2004057765 A	08-07-2004	US 2004125898 A1	01-07-2004
		AU 2003299828 A1	14-07-2004
		WO 2004057765 A2	08-07-2004

EPO FORM P0465