



(51) Classification internationale des brevets :
H04B 7/04 (2006.01) H04B 7/08 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2011/050503

(22) Date de dépôt international :
14 mars 2011 (14.03.2011)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1051830 15 mars 2010 (15.03.2010) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) :
FRANCE TELECOM [FR/FR]; 6 place d'Alleray,
F-75015 Paris (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : AMARA,
Mustapha [DE/TN]; 2 avenue du 25 juillet 1957, Sousse,
4000 (TN). YUAN-WU, Julie [FR/FR]; 5 rue Champ
Lagarde, F-78000 Versailles (FR). SLOCK, Dirk
[BE/FR]; 290 route de Grasse, F-06220 Vallauris (FR).

(74) Mandataire : JEUNE, Pascale; FRANCE TELECOM
R&D/PIV/BREVETS, 38-40 rue du Général Leclerc,
F-92794 Issy Moulineaux Cedex 9 (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM,
AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ,
CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP,
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD,
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,
NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD,
SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR,
TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,
GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG,
ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ,
TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,
EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU,
LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK,
SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ,
GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : METHOD FOR TRANSMITTING A SIGNAL FOR A MULTIUSER MIMO SYSTEM, TRANSMITTER, AND CORRESPONDING COMPUTER PROGRAM PRODUCT AND DATA MEDIUM

(54) Titre : PROCEDE D'EMISSION D'UN SIGNAL POUR UN SYSTEME MIMO MULTI UTILISATEURS, EMETTEUR, PRODUIT PROGRAMME D'ORDINATEUR ET SUPPORT D'INFORMATION CORRESPONDANTS

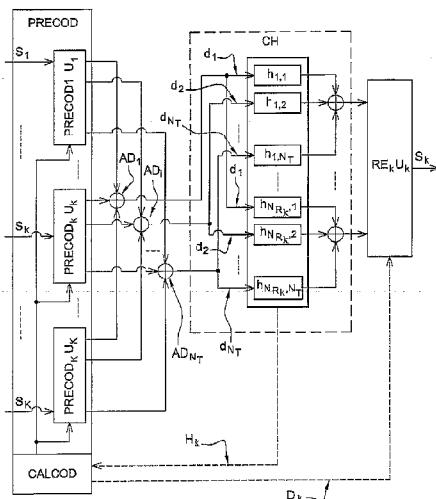


Fig. 3

(57) Abstract : The present invention relates to a method for the simultaneous transmission of K data streams allocated to K different users, respectively, said method to be implemented by a transmitter for a MIMO system having N_T transmission antennas and, [formula (I)] receiving antennas associated with K receivers that are respectively associated with a user. The method includes, for each data stream, at least: the series of two different iterative conjoint calculation algorithms of a linear precoder and of a receiver which are suitable for a multiuser MIMO system, the second iterative algorithm being initialized by means of the output value of the first iterative algorithm.

(57) Abrégé : La présente invention se rapporte à un procédé d'émission simultanée de K flux de données alloués respectivement à K utilisateurs différents mis en œuvre par un émetteur destiné à un système MIMO à N_T antennes d'émission et, formule (I), antennes de réception associées à K récepteurs associés respectivement à un utilisateur. Le procédé comprend au moins par flux de données : la succession de deux algorithmes itératifs différents de calcul conjoint d'un précodeur linéaire et d'un récepteur adaptés pour système MIMO multiutilisateurs, le deuxième algorithme itératif étant initialisé par la valeur de sortie du premier algorithme itératif.

$$N_R = \sum_{k=1}^K N_{R_k} \quad (I)$$

**Déclarations en vertu de la règle 4.17 :**

— *relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv)*

— *avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues (règle 48.2.h)*

Publiée :

— *avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))*

Procédé d'émission d'un signal pour un système MIMO multi utilisateurs, émetteur, produit programme d'ordinateur et support d'information correspondants.

5 **Domaine de l'invention**

La présente invention se rapporte au domaine des télécommunications. Au sein de ce domaine, l'invention se rapporte plus particulièrement aux communications dites numériques. Les communications numériques comprennent en particulier les communications sans fil ; elles comprennent aussi par exemple les communications filaires. Le support de transmission des
10 communications est couramment appelé canal de transmission ou de propagation, à l'origine en référence à un canal aérien et par extension en référence à tout canal.

L'invention concerne les techniques d'émission et de réception dans un système multi antennes multi flux avec au moins un flux par utilisateur. Elle s'applique essentiellement aux communications sur voie descendante et plus particulièrement d'une station de base vers plusieurs terminaux. Dans ce
15 cas, le canal de transmission est dit canal de diffusion.

Art antérieur

Les systèmes de communication numérique multi antennes couramment désignés par l'acronyme MIMO (acronyme des termes anglosaxons Multiple Input Multiple Output pour "Entrées Multiples Sorties Multiples") englobent tous les systèmes qui comportent plusieurs antennes à
20 l'émission et généralement plusieurs antennes à la réception. Un système MIMO avec une seule antenne de réception est aussi désigné par l'acronyme MISO (acronyme des termes anglosaxons Multiple Input Single Output).

Ces systèmes répondent à la demande toujours croissante de fourniture de services de télécommunication variés à des débits toujours supérieurs aux offres existantes. En effet, on a prouvé
25 que la capacité des canaux MIMO augmente proportionnellement avec le nombre minimal des antennes en émission et en réception.

Un exemple d'un tel système est illustré par le schéma de la figure 1. Le système comprend une station de base avec N_T antennes de transmission et K mobiles avec N_{R_k} antennes de réception pour l'utilisateur k associé au mobile k . Le canal de transmission est pour l'utilisateur k modélisé par une
30 matrice H_k de taille $N_{R_k} \times N_T$ qui représente l'impacte du canal de transmission entre les antennes à l'émission et les antennes à la réception. Chaque composante de la matrice est une variable aléatoire de moyenne nulle et de variance considérée égale à 1.

L'invention se place dans un contexte de canal à évanouissements lents de Rayleigh par utilisateur avec indépendance totale entre les différents canaux des différents utilisateurs. Ceci permet
35 de considérer que pour chaque flux de données associé à un utilisateur, le canal de propagation du flux est indépendant des canaux de propagation des autres flux. Le contexte de canal à évanouissements lents de Rayleigh par utilisateur avec indépendance totale entre les différents canaux des différents utilisateurs correspond typiquement à une propagation en milieu urbain, c'est-à-dire à trajets multiples.

Dans le cas d'un système MIMO multi utilisateurs, les flux des différents utilisateurs sont transmis simultanément de la station de base aux récepteurs des utilisateurs.

L'invention se place dans un contexte de diffusion, au sens de la théorie de l'information, c'est-à-dire dans un contexte de transmission de différents flux pour différents utilisateurs à partir d'un émetteur. En outre, cet émetteur a une connaissance parfaite du canal de transmission. Ceci implique une estimation parfaite de toutes les composantes des matrices H_k de tous les utilisateurs puisqu'on est dans un canal de diffusion ainsi que l'invariance du canal de transmission entre le moment où est effectuée l'estimation du canal à la réception et le moment où cette estimation est exploitée à l'émission.

Côté émission, des pré-codeurs permettent de séparer les flux des différents utilisateurs afin de minimiser les interférences inter utilisateurs à la réception et d'améliorer par conséquent le débit véhiculé. Un flux de données est associé à un utilisateur. Les flux des différents utilisateurs sont par exemple relatifs à un même service de télécommunication et/ou à différents services (par exemple voix, data, vidéo).

Bien que le nombre maximal de flux par utilisateur soit de $Q_k = \min(N_{R_k}, T_k)$, la description est limitée à un flux par utilisateur par souci de simplification.

Le débit total maximal pouvant être véhiculé par un système MIMO vers tous les utilisateurs est une quantité très importante permettant son dimensionnement. Cette quantité a été définie par la théorie de l'information comme la capacité ergodique du système.

L'optimisation du débit total se base sur l'optimisation conjointe de l'émetteur et du récepteur afin de trouver la combinaison qui minimise le MSE (abréviations des termes anglosaxons Mean Square Error).

Les techniques connues pour des systèmes MIMO multi utilisateurs sont basées sur des critères tels que le MMSE (acronyme des termes anglosaxons Minimum Mean Square Error) et le SJNR (acronyme des termes anglosaxons Signal to Jamming and Noise Ratio) qui permettent d'effectuer une optimisation du système.

Certaines analyses théoriques ont démontré que la capacité du canal de diffusion MU-MIMO (abréviation de Multi Utilisateurs MIMO) peut être atteinte à l'aide de l'algorithme DPC (acronyme des termes anglosaxons Dirty Paper Coding) [3,4]. Cependant, un précodage DPC reste, malgré les grandes avancées des calculateurs, un algorithme très difficile à mettre en place à cause de la puissance de calcul requise.

Ainsi, des solutions sous optimales de précodeurs linéaires avec une faible complexité ont vu le jour.

Une catégorie de précodeurs linéaires met en œuvre des algorithmes dits linéaires non itératifs appelés aussi directs (ou CF selon les abréviations des termes anglosaxons Closed Form). Ces algorithmes déterminent pour chaque flux un couple de vecteurs d'émission et de réception. Les couples de vecteurs relatifs à tous les utilisateurs sont calculés par la station de base. La station de base

informe les utilisateurs de leurs vecteurs de réception en utilisant typiquement un canal de signalisation. La station de base émet l'information de chaque flux en utilisant le vecteur d'émission correspondant. Tous les flux sont transmis en même temps. À la réception, chaque récepteur associé à un utilisateur utilise le vecteur de réception communiqué par la station de base pour combiner les signaux reçus sur les différentes antennes et extraire les échantillons correspondant au flux de l'utilisateur.

Parmi ces précodeurs, un précodeur SJNR est un précodeur qui se base sur la maximisation du rapport signal sur signal de brouillage et bruit, SJNR, rapport donné par l'expression suivante :

$$SJNR_k = \frac{\mathbf{T}_k^H \mathbf{H}_k^H \mathbf{H}_k \mathbf{T}_k}{\mathbf{T}_k^H \sum_{h=1, h \neq k}^K \mathbf{H}_h^H \mathbf{H}_h \mathbf{T}_k + N_0 \mathbf{I}} \quad (1.1)$$

À titre d'exemple, on connaît de l'article [1] un procédé basé sur un pré-codeur défini comme la valeur propre généralisée de l'expression du SJNR.

Selon cet article, le pré-codeur SJNR pour l'utilisateur k est déterminé par l'équation suivante :

$$\mathbf{T}_k = \sqrt{P_k} \zeta_m \left(\left(\sum_{j=1, j \neq k}^K \mathbf{H}_j^H \mathbf{H}_j + \frac{N_0}{P_k} \mathbf{I} \right)^{-1} \mathbf{H}_k^H \mathbf{H}_k \right)$$

avec $\sum_{k=1}^K P_k = P_T$ (1.2)

où P_k est la puissance transmise à l'utilisateur k et $\zeta_m[x]$ est la fonction qui renvoie la plus grande valeur propre de x , c'est-à-dire $\zeta_m[x]$ est le vecteur propre correspondant à la plus grande valeur propre de x . Pour le récepteur, les auteurs de [1] proposent un simple récepteur MF (acronyme des termes anglosaxons Matched Filter) dont l'expression est la suivante :

$$\mathbf{D}_{MF,k} = \frac{(\mathbf{H}_k \mathbf{T}_k)^H}{\|(\mathbf{H}_k \mathbf{T}_k)\|} \quad (1.7)$$

Une version itérative de ce précodeur est décrite par [6] et l'expression correspondante du précodeur s'exprime sous la forme :

$$\mathbf{T}_k^{iter} = \sqrt{P_k} \zeta_m \left(\left(\sum_{j=1, j \neq k}^K (\mathbf{H}_j^{iter})^H (\mathbf{H}_j^{iter}) + \frac{N_0^{iter}}{P_k} \mathbf{I} \right)^{-1} (\mathbf{H}_k^{iter})^H \mathbf{H}_k^{iter} \right) \quad (1.3)$$

Dans cette expression (1.3), N_0^{iter} représente le niveau de bruit perçu à la réception par l'utilisateur k à l'itération $iter$. N_0^{iter} est donnée par l'expression :

$$N_0^{iter} = N_0 \mathbf{D}_k^{iter} (\mathbf{D}_k^{iter})^H$$

avec $\mathbf{D}_k^{iter}$ le récepteur considéré pour l'utilisateur k . Dans [6] le récepteur proposé est un récepteur MSR dont l'expression est la suivante :

$$\mathbf{D}_{MSR,k} = \left(\zeta_m \left(\left(\sum_{j=1, j \neq k}^K \mathbf{H}_k \mathbf{T}_j \mathbf{R}_{s_j} \mathbf{T}_j^H \mathbf{H}_k^H + N_0 \mathbf{I} \right)^{-1} \mathbf{H}_k \mathbf{T}_k \mathbf{R}_{s_k} \mathbf{T}_k^H \mathbf{H}_k^H \right) \right)^H \quad (1.8)$$

L'analyse des performances du système comprenant l'émetteur et le récepteur se base sur la valeur du débit total du système. L'expression du débit total SR (abréviations des termes anglosaxons Sum-Rate) a été donnée par la théorie de l'information comme la somme des débits offerts aux différents utilisateurs :

$$SR = \sum_{k=1}^K \log_2 \left(1 + \frac{\mathbf{D}_k \mathbf{H}_k \mathbf{T}_k \mathbf{R}_{s_k} \mathbf{T}_k^H \mathbf{H}_k^H \mathbf{D}_k^H}{\mathbf{D}_k (\gamma_k + N_0 \mathbf{I}) \mathbf{D}_k^H} \right) \quad (1.10)$$

où le terme $\gamma_k = \mathbf{H}_k \sum_{j=1, j \neq k}^K \mathbf{T}_j \mathbf{R}_{s_j} \mathbf{T}_j^H \mathbf{H}_k^H$ représente l'interférence générée par les autres utilisateurs et captés par l'utilisateur k .

Le système décrit dans [6] permet effectivement une maximisation du débit mais la convergence de l'algorithme se fait vers un maximum local qui dépend de l'initialisation de l'algorithme. L'optimisation du système n'est par conséquent pas optimale quand le maximum local n'est pas un maximum maximorum.

Exposé de l'invention

L'invention propose une technique d'émission et une technique de réception pour un système MIMO multi utilisateurs permettant d'améliorer l'optimisation du système connu pour une meilleure maximisation de la capacité de transmission du système. Le système MIMO multi utilisateurs comprend N_T antennes d'émission et $N_R = \sum_{k=1}^K N_{R_k}$ antennes de réception associées à K récepteurs associés respectivement à K utilisateurs. Le système MIMO comprend un émetteur qui met en œuvre un procédé d'émission simultanée de K flux de données alloués respectivement à K utilisateurs différents selon l'invention.

Le procédé d'émission selon l'invention est particulièrement remarquable en ce qu'il comprend au moins par flux de données :

- la succession de deux algorithmes itératifs différents de calcul conjoint d'un précodeur linéaire et d'un récepteur adaptés pour système MIMO multiutilisateurs, le deuxième algorithme itératif étant initialisé par la valeur de sortie du premier algorithme itératif.

Les algorithmes itératifs ne présentent pas tous les mêmes particularités. Les inventeurs ont observés que, contre toute attente, la cascade de deux algorithmes itératifs de type différent permet d'améliorer le débit total atteint comparativement à celui atteint avec un seul algorithme itératif sans pour autant augmenter globalement le nombre d'itérations. Cette cascade a la particularité de diminuer l'impact des maxima locaux sur le processus de convergence et d'augmenter par voie de conséquence la convergence du deuxième algorithme itératif vers un maximum absolu. En effet, la valeur d'initialisation du deuxième algorithme est obtenue à l'issue d'une ou plusieurs itérations du premier

algorithme itératif et non plus de manière arbitraire. Ainsi, la détermination de la valeur d'initialisation prend en compte les conditions opérationnelles du système MIMO (canal de transmission, bruit (SNR), nombre d'antennes) contrairement à un choix arbitraire.

Le basculement du premier algorithme au deuxième algorithme est effectué de façon dynamique selon un test de sortie basé sur un seuil de variation du débit atteint sur une fenêtre donnée d'itérations. De manière alternative, il peut être fixé un nombre maximal d'itérations. Ce test assure que la valeur des vecteurs initiaux utilisés par le deuxième algorithme prend suffisamment en compte les variations des conditions opérationnelles ; le nombre d'itérations du premier algorithme est donc variable en fonction de ces conditions opérationnelles.

Typiquement, le premier algorithme itératif est choisi comme présentant une variation non stable du débit total et le deuxième algorithme est choisi comme présentant une variation strictement croissante du débit total.

Plus particulièrement, le premier algorithme et le deuxième algorithme prennent en compte un premier type de précodage linéaire dit SJNR qui maximise un rapport signal sur signal de brouillage et bruit ou un deuxième type de précodage linéaire dit MMSE qui minimise une erreur quadratique moyenne.

Plus particulièrement, le premier algorithme prend en compte un premier type de récepteur dit MF et le deuxième algorithme prend en compte un deuxième type de récepteur dit MSR.

Selon une implémentation préférée, le premier algorithme et le deuxième algorithme prennent en compte un premier type de précodage linéaire dit SJNR et le premier algorithme prend en compte un premier type de récepteur dit MF et le deuxième algorithme prend en compte un deuxième type de récepteur dit MSR.

L'invention peut aussi être exprimée sous la forme plus détaillée d'un procédé d'émission simultanée de K flux de données alloués respectivement à K utilisateurs différents, mis en œuvre par un émetteur destiné à un système MIMO multi utilisateurs à N_T antennes d'émission et

$$N_R = \sum_{k=1}^K N_{R_k} \text{ antennes de réception associées à } K \text{ récepteurs associés respectivement à } K$$

utilisateurs, comprenant au moins par flux de données :

- un calcul itératif conjoint d'un premier vecteur d'émission d'un précodage linéaire et d'un premier vecteur de réception D_k^1 associé à un premier type de récepteur, avec un test de sortie du calcul itératif basé sur un seuil de variation du débit atteint sur une fenêtre donnée d'itérations ou basé sur un nombre maximal d'itérations,
- un calcul itératif conjoint d'un deuxième vecteur d'émission T_k^2 du précodage linéaire et d'un deuxième vecteur de réception D_k^2 associé à un deuxième type de récepteur différent du premier, initialisé avec le premier vecteur de réception, avec un test de sortie du calcul itératif basé sur un seuil de variation du débit entre itérations successives ou basé sur un nombre maximal d'itérations, et en ce qu'il comprend :
- l'émission des K deuxième vecteurs de réception D_k^2 à destination des K récepteurs recevant les K flux,
- l'émission des K flux précodés par les respectivement K deuxième vecteurs d'émission.

Selon une implémentation préférée, les étapes du procédé d'émission sont déterminées par les instructions d'un programme d'émission incorporé dans un circuit électronique telle une puce elle-même pouvant être disposée dans un dispositif électronique tel un émetteur. Le procédé d'émission selon l'invention peut tout aussi bien être mis en œuvre lorsque ce programme est chargé dans un organe de calcul tel un processeur ou équivalent dont le fonctionnement est alors commandé par l'exécution du programme.

L'invention a en outre pour objet un émetteur adapté pour un système multi utilisateurs MIMO de télécommunication comprenant N_T antennes d'émission destinées à être connectées à l'émetteur,

$N_R = \sum_{k=1}^K N_{R_k}$ antennes de réception et K récepteurs associés respectivement à K utilisateurs et

connectés respectivement à N_{R_k} parmi les $N_R = \sum_{k=1}^K N_{R_k}$ antennes de réception, pour émettre

simultanément K flux de données alloués respectivement aux K utilisateurs. L'émetteur comprend :

- K pré-codeurs linéaires de vecteur d'émission T_k pour générer K vecteurs intermédiaires de taille N_T ,
- par pré-codeur, un moyen de calcul adapté pour calculer itérativement de manière conjointe un premier vecteur d'émission d'un précodage linéaire et un premier vecteur de réception D_k^1 de taille N_{R_k} associé à un premier type de récepteur, avec un test de sortie du calcul itératif basé sur un seuil de variations du débit atteint sur une fenêtre donnée d'itérations ou basé sur un nombre maximal d'itérations, puis pour calculer itérativement de manière conjointe un deuxième vecteur d'émission T_k^2 du précodage linéaire et un deuxième vecteur de réception D_k^2 de taille N_{R_k} associé à un deuxième type de récepteur différent du premier, initialisé avec le premier vecteur de réception, avec un test de sortie du calcul itératif basé sur un seuil de variations du débit entre itérations successives ou basé sur un nombre maximal d'itérations, les K vecteurs d'émission des K pré-codeurs linéaires étant égal au deuxième vecteur d'émission T_k^2 ,
- N_T additionneurs des N_T composantes des K vecteurs intermédiaires pour générer un vecteur d'alimentation des N_T antennes,
- un moyen d'émission des K deuxième vecteurs de réception D_k^2 à destination des K récepteurs.

L'invention a en outre pour objet un système multi utilisateurs MIMO de télécommunication comprenant un émetteur, N_T antennes d'émission connectées à l'émetteur, $N_R = \sum_{k=1}^K N_{R_k}$

antennes de réception et K récepteurs associés respectivement à K utilisateurs et connectés respectivement à N_{R_k} parmi les $N_R = \sum_{k=1}^K N_{R_k}$ antennes de réception. L'émetteur comprend :

- K pré-codeurs linéaires de vecteur d'émission T_k pour générer K vecteurs intermédiaires de taille N_T ,
 - par pré-codeur, un moyen de calcul adapté pour calculer itérativement de manière conjointe un premier vecteur d'émission d'un précodage linéaire et un premier vecteur de réception D_k^1 de taille N_{R_k} associé à un premier type de récepteur, avec un test de sortie du calcul itératif basé sur un seuil de variations du débit atteint sur une fenêtre donnée d'itérations ou basé sur un nombre maximal d'itérations, puis pour calculer itérativement de manière conjointe un deuxième vecteur d'émission T_k^2 du précodage linéaire et un deuxième vecteur de réception D_k^2 de taille N_{R_k} associé à un deuxième type de récepteur différent du premier, initialisé avec le premier vecteur de réception, avec un test de sortie du calcul itératif basé sur un seuil de variations du débit entre itérations successives ou basé sur un nombre maximal d'itérations, les K vecteurs d'émission des K pré-codeurs linéaires étant égal au deuxième vecteur d'émission T_k^2 ,
 - N_T additionneurs des N_T composantes des K vecteurs intermédiaires pour générer un vecteur d'alimentation des N_T antennes,
 - un moyen d'émission des K deuxième vecteurs de réception D_k^2 à destination des K récepteurs
- Et chaque récepteur k comprend :
- un moyen de réception du vecteur de réception D_k^2 qui maximise le débit du flux k ,
 - un décodeur linéaire adapté pour extraire le flux k parmi les K flux au moyen du vecteur de réception D_k^2 , un moyen pour estimer la matrice H_k du canal de propagation.
- Et le système comprend, associé à chaque récepteur k , un moyen pour émettre la matrice H_k à destination de l'émetteur.

En conséquence, l'invention s'applique également à un programme d'ordinateur, notamment un programme d'ordinateur sur ou dans un support d'informations, adapté à mettre en œuvre l'invention. Ce programme peut utiliser n'importe quel langage de programmation, et être sous la forme de code source, code objet, ou de code intermédiaire entre code source et code objet tel que dans une forme partiellement compilée, ou dans n'importe quelle autre forme souhaitable pour implémenter un procédé selon l'invention.

Le support d'informations peut être n'importe quelle entité ou dispositif capable de stocker le programme. Par exemple, le support peut comporter un moyen de stockage, tel qu'une ROM, par exemple un CD ROM ou une ROM de circuit microélectronique, ou encore un moyen d'enregistrement magnétique, par exemple une disquette (floppy disc) ou un disque dur.

Alternativement, le support d'informations peut être un circuit intégré dans lequel le programme est incorporé, le circuit étant adapté pour exécuter ou pour être utilisé dans l'exécution du procédé en question.

D'autre part, le programme peut être traduit en une forme transmissible telle qu'un signal électrique ou optique, qui peut être acheminé via un câble électrique ou optique, par radio ou par

d'autres moyens. Le programme selon l'invention peut être en particulier téléchargé sur un réseau de type Internet.

Liste des figures

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront lors de la description qui suit
5 d'exemples donnés à titre d'exemples non limitatifs, description faite en regard des figures annexées suivantes.

La figure 1 est un schéma d'un système MIMO linéaire multi utilisateurs selon l'art antérieur.

La figure 2 est un schéma du système MIMO de la figure 1 limité au traitement du flux k .

La figure 3 est un schéma détaillé du pré-codage des K flux $S_1, \dots, S_K$ de données selon
10 l'invention.

La figure 4 représente sous forme de courbes des résultats de simulation donnant une moyenne du débit total faite sur les réalisations du canal de transmission, en fonction d'un niveau de puissance totale émise qui impacte directement à la réception le rapport signal à bruit, pour un premier exemple d'un système MIMO multi utilisateurs mettant en œuvre trois algorithmes différents.

15 Les figures 5 et 6 sont des loupes de la figure 4.

La figure 7 représente sous forme de courbes des résultats de simulation donnant une moyenne du débit total en fonction d'un niveau de puissance totale émise qui impacte directement à la réception le rapport signal à bruit, pour un deuxième exemple d'un système MIMO multi utilisateurs mettant en œuvre trois algorithmes différents.

20 La figure 8 est une loupe de la figure 7.

Description d'un mode de réalisation de l'invention

Le schéma de la figure 1 représente un système MIMO linéaire multi utilisateurs selon l'art antérieur. Le système SYS comprend un émetteur avec un pré-codeur PRECOD formé de K pré-codeurs, côté station de base, et K récepteurs côtés utilisateurs qui ont tous une structure linéaire.

25 L'émetteur est relié à N_T antennes d'émission. Le récepteur de l'utilisateur k est relié à N_{R_k} antennes de réception. Le canal de diffusion de l'émetteur aux récepteurs, est représenté par K canaux de transmission de matrice H_k .

Le schéma de la figure 2 représente le système MIMO de la figure 1 limité au traitement du flux k . Les données S_k du flux k sont combinées avec le vecteur émission T_k lors du pré-codage mis en œuvre par le pré-codeur PRECOD $_k$. Le vecteur d'émission T_k est calculé selon un procédé connu de l'art antérieur, par exemple un procédé basé sur un critère MMSE ou sur un critère SJNR.

La figure 3 est un schéma détaillé du pré-codage des K flux $S_1, \dots, S_K$ de données. Le pré-codeur PRECOD est formé de K pré-codeurs PRECOD $_1, \dots, K$. Les N_T composantes des vecteurs de sorties des pré-codeurs, ou vecteurs intermédiaires, sont additionnées par N_T additionneurs $AD_{1, \dots, N_T}$. Le
35 vecteur de sortie $d_1, \dots, d_{N_T}$ des additionneurs correspond au signal transmis sur le canal de propagation, les N_T antennes d'émission ne sont pas représentées. Le canal de propagation CH est représenté par sa matrice H . Le récepteur RE $_k$ de l'utilisateur k exploite N_{R_k} signaux reçus par N_{R_k} antennes de réception non représentées. Le signal reçu par une antenne i provient des N_T antennes

d'émission et est donc égal au signal émis $d_1, \dots, d_{N_T}$ pondéré par les coefficients $h_{i,1}, \dots, h_{i,N_T}$ du canal.

Le pré-codeur comprend un module CALCOD de calcul des vecteurs d'émission et de réception pour les K flux à partir de la connaissance des coefficients H_k du canal de propagation pour chaque flux k .

Contrairement aux techniques connues qui déterminent séparément les vecteurs initiaux d'émission et de réception, le module de calcul CALCOD selon l'invention est adapté pour déterminer conjointement ces vecteurs initiaux en mettant en œuvre un premier algorithme itératif multi utilisateurs pour système MIMO qui prend en compte l'expression générale du débit total du système MIMO multi utilisateurs SYS pour maximiser le débit total transféré à travers le canal CH.

Après une ou plusieurs itérations, le module de calcul CALCOD bascule du premier algorithme itératif au deuxième algorithme itératif et utilise les vecteurs calculés par le premier algorithme itératif pour initialiser les valeurs des vecteurs du deuxième algorithme.

Ce point de basculement ou de "flip" entre algorithmes est crucial pour la convergence. En effet, changer d'un récepteur d'un premier type à un récepteur d'un deuxième type trop tôt peut mener à une mauvaise initialisation qui ne peut être corrigée par le récepteur de deuxième type et changer de récepteur trop tard peut ne pas permettre de récupérer les avantages que présente un récepteur de deuxième type. Une prise de décision du basculement effectuée de manière dynamique permet de prendre en compte la variation de la valeur optimale de la valeur de basculement en fonction de la réalisation du canal, du SNR du système et de la configuration utilisée (Nombre d'antennes à l'émission et à la réception).

Le tableau 1 en Annexe A est relatif à un système avec $N_T = 4, N_R = 4, K = 4$ avec un flux par utilisateur pour une configuration du système auxquelles correspondent une puissance totale d'émission différente respectivement de -10 dB et 40 dB. Le tableau 1 donne la valeur optimale du point de basculement en fonction de la puissance qui varie par palier de 2,5dB. La première ligne correspond à une maximisation du débit somme total moyen sur toutes les réalisations des canaux de transmission et la seconde ligne correspond à une maximisation de la somme des débits sur chaque réalisation des K canaux de transmission pour les K utilisateurs.

Ces résultats expérimentaux montrent la forte dépendance de la valeur optimale du basculement en fonction de la valeur du SNR de fonctionnement du système mais aussi en fonction des réalisations des canaux de transmission, le SNR étant le rapport entre d'une part la puissance d'émission et d'autre part le nombre d'antennes d'émission et la puissance du bruit considérée égale à un.

Le basculement du premier algorithme au deuxième algorithme est effectué selon l'invention selon un procédé de prise de décision basé sur un critère d'arrêt. Ce procédé de prise de décision consiste à observer sur une fenêtre glissante ayant une taille de WIN_{MF} préfixée l'évolution du premier algorithme en cours d'exécution. Ce premier algorithme est exécuté jusqu'à sa convergence. La convergence est déterminée par la stabilisation de la valeur du débit total SR sur la fenêtre

d'observation. Une fois que ce premier algorithme itératif est stabilisé, et donc qu'il a convergé, le module de calcul CALCOD bascule sur le deuxième algorithme en prenant le point de convergence comme point d'initialisation (défini par le couple de vecteurs d'initialisation (émission, réception)) et exécute ce deuxième algorithme. En fait, l'initialisation du deuxième algorithme ne nécessite la
 5 connaissance que du vecteur de réception. La fin de l'algorithme est définie soit par un nombre maximal d'itérations $N_{\max}^{iter}$ soit par la stabilisation du débit total SR du système évaluée entre itérations successives.

Selon un mode de réalisation préféré du procédé, le premier algorithme itératif associe un précodeur SJNR et un récepteur MF et le deuxième algorithme associe un précodeur SJNR et un
 10 récepteur MSR. Le déroulement du procédé est le suivant pour chaque flux $k = 1, \dots, K$:

0/ initialisation des paramètres $N_{\max}^{iter}$ (nombre d'itérations maximale global), WIN_{MF} (fenêtre d'observation), ε , ε_{MF} et Δ_{MSR} (nombre minimal d'itérations du deuxième algorithme, $\Delta_{MSR} \in \mathbb{N}^*$ et $1 \leq \Delta_{MSR} \leq N_{\max}^{iter} - WIN_{MF}$)

1/ exécution :

- 15 - calcul d'un précodeur linéaire SJNR, T_k^0 , à l'aide de la formule (1.2),
 - calcul d'un récepteur MF, $D_k^0 = D_{MF,k}$ à l'aide de la formule (1.7),
 - $iter = 1$,

2/remplacement du canal de transmission H_k par un canal virtuel équivalent donné par la cascade du canal et du récepteur noté $H_k^{iter} = D_k^{iter-1} H_k$,

20 3/calcul du nouveau précodeur SJNR, T_k^{iter} , avec le nouveau canal ainsi obtenu en utilisant l'équation (1.3),

4/calcul du nouveau récepteur MF, $D_k^{iter} = D_{MF,k}$ en fonction de T_k^{iter} avec l'équation (1.7),

5/calcul de la somme des débits SR^{iter} obtenue en injectant T_k^{iter} et D_k^{iter} dans l'équation (1.10),

6/ incrémentation $iter = iter + 1$ et répétition des étapes 2/ à 5/ WIN_{MF} fois,

25 7/ Vérification de la convergence de l'algorithme MF en vérifiant la contrainte suivante :

$$Var\left(\left[SR_{iter-WIN_{MF}}, \dots, SR_{iter}\right]\right) = \frac{1}{WIN_{MF}} \sum_{i=0}^{WIN_{MF}} \left(SR_{iter-i} - \frac{1}{WIN_{MF}} \sum_{i=0}^{WIN_{MF}} SR_{iter-i} \right)^2 \leq \varepsilon_{MF}. \quad \text{Si la}$$

condition est vérifiée ou si $iter = N_{\max}^{iter} - \Delta_{MSR}$ alors passage à 8/ en conservant le vecteur

D_k^{iter} obtenu. Sinon, incrémentation $iter = iter + 1$ et répétition des étapes 2/, 3/, 4/, 5/ et 7/,

8/incrémentation du compteur ($iter = iter + 1$) et remplacement du canal de transmission H_k par un
 30 canal virtuel équivalent donné par la cascade du canal et du récepteur noté $H_k^{iter} = D_k^{iter-1} H_k$,

(Lors de la première exécution de 8/ (c'est-à-dire en venant de 7/), D_k^{iter-1} est un récepteur MF tel que calculé en 4/ dans l'itération $iter - 1$.),

9/calcul du nouveau précodeur SJNR, $\mathbf{T}_k^{iter}$, avec le nouveau canal ainsi obtenu en utilisant l'équation (1.3),

10/calcul du nouveau récepteur optimal $\mathbf{D}_k^{iter} = \mathbf{D}_{MSR,k}$ en fonction de $\mathbf{T}_k^{iter}$ avec l'équation (1.8) d'un récepteur MSR,

5 11/calcul de la somme des débits, SR^{iter} , obtenue en injectant $\mathbf{T}_k^{iter}$ et $\mathbf{D}_k^{iter}$ dans l'équation (1.10),

12/répétition des étapes 8/ à 11/ jusqu'à convergence de l'algorithme itératif. La convergence est déterminée par la stabilisation de la valeur du débit total $|SR^{iter} - SR^{iter+1}| < \varepsilon$; ou par le dépassement d'un nombre d'itérations maximal N_{max}^{iter} .

De manière alternative à un précodeur SJNR, il peut être utilisé un précodeur MMSE. Dans [5], les auteurs ont décrit un procédé basé sur un émetteur MMSE pour chaque utilisateur qui tient compte de l'interférence générée par tous les autres utilisateurs. Pour chaque utilisateur, la forme du pré-codeur est d'abord déduite de l'équation suivante :

$$\mathbf{T}_k = \sqrt{\frac{P_T}{\text{tr}\left(\sum_{j=1}^K \hat{\mathbf{T}}_j \mathbf{V}_j^{(1)} (\hat{\mathbf{T}}_j \mathbf{V}_j^{(1)})^H\right)}} \hat{\mathbf{T}}_k \mathbf{V}_k^{(1)} \quad (1.4)$$

où $\mathbf{H}_k \hat{\mathbf{T}}_k = \mathbf{U}_k \Sigma_k \mathbf{V}_k^H$ et $[\]^*$ étant l'opérateur de conjugaison on a :

$$15 \quad \hat{\mathbf{T}}_k = \left(\left[\mathbf{H}_1^T \cdots \mathbf{H}_{k-1}^T \mathbf{H}_{k+1}^T \cdots \mathbf{H}_K^T \right]^* \left[\mathbf{H}_1^T \cdots \mathbf{H}_{k-1}^T \mathbf{H}_{k+1}^T \cdots \mathbf{H}_K^T \right]^T + \frac{N_{R_k}}{P_T} N_0 \mathbf{I} \right)^{-1} \times \hat{\mathbf{H}}_k^H$$

$$\hat{\mathbf{H}}_k = \left[\begin{array}{c} \mathbf{H}_k \\ \left[\mathbf{H}_1^T \cdots \mathbf{H}_{k-1}^T \mathbf{H}_{k+1}^T \cdots \mathbf{H}_K^T \right]^T \end{array} \right]$$

Une forme itérative de ce type de précodeur MMSE a été proposée dans [2]. La méthode décrite est une solution linéaire itérative à base d'émetteurs et de récepteurs MMSE. L'émetteur est donné par l'équation suivante :

$$20 \quad \mathbf{T}_k' = \left(\sum_{i=1}^K (\mathbf{H}_i^{iter})^H (\mathbf{D}_i^{iter})^H \mathbf{D}_i^{iter} \mathbf{H}_i^{iter} + \frac{N_0}{P_T} \sum_{j=1}^K \text{tr} \left(\mathbf{D}_j^H (\mathbf{D}_j^{iter})^H \right) \mathbf{I} \right)^{-1} (\mathbf{H}_k^{iter})^H (\mathbf{D}_k^{iter})^H \quad (1.5)$$

Selon cette alternative, le procédé utilise les formules (1.4) et (1.5) en lieu et place des formules (1.2) et (1.3).

De manière alternative à un précodeur SJNR ou de manière successive, il peut être utilisé un précodeur SVH mais uniquement pour un système MISO.

Le calcul d'un précodeur SVH se base sur une analyse mathématique qui grâce à des calculs de dérivées exactes du lagrangien permet la maximisation du débit total SR du système. Une approche itérative mettant en œuvre ce procédé de maximisation est décrite dans [7]. La référence [7] définit le système d'équations suivant :

$$\begin{cases}
 \mathbf{T}^{iter_{SVH}} = \left(\left(\sigma^2 \text{tr}(\mathbf{F}^{iter_{SVH}-1}) \right) \mathbf{I} + \mathbf{H}^H \mathbf{F}^{iter_{SVH}-1} \mathbf{H} \right)^{-1} \mathbf{H}^H \mathbf{G}^{iter_{SVH}-1} \\
 num_k = \left| \left(\mathbf{H} \mathbf{T}^{iter_{SVH}} \right)_{kk} \right|^2 ; den_k = \sigma^2 \text{tr} \left(\mathbf{T}^{iter_{SVH}} \left(\mathbf{T}^{iter_{SVH}} \right)^H \right) + \sum_{n=1, n \neq k}^K \left| \left(\mathbf{H} \mathbf{T}^{iter_{SVH}} \right)_{kn} \right|^2 \\
 \mathbf{F}^{iter_{SVH}} = \text{diag} \left(\frac{num_1}{den_1 (den_1 + num_1)}, \dots, \frac{num_K}{den_K (den_K + num_K)} \right) \\
 \mathbf{G}^{iter_{SVH}} = \text{diag} \left(\frac{\left(\mathbf{H} \mathbf{T}^{iter_{SVH}-1} \right)_{11}}{den_1}, \dots, \frac{\left(\mathbf{H} \mathbf{T}^{iter_{SVH}-1} \right)_{KK}}{den_K} \right)
 \end{cases} \quad (1.6)$$

Où $\mathbf{H} = \left[\left(\mathbf{H}_1^{iter} \right)^T, \dots, \left(\mathbf{H}_K^{iter} \right)^T \right]^T$. Cet algorithme nécessite une initialisation qui consiste à mettre les matrices initiales $\mathbf{F}$ et $\mathbf{G}$ égales à $\mathbf{I}$.

Selon cette alternative, le procédé utilise la formule (1.6) en lieu et place des formules (1.2) et (1.3).

Lorsque l'utilisation est de manière successive, alors le procédé comprend en outre par flux de données :

- un calcul itératif conjoint d'un troisième vecteur d'émission du précodage linéaire associé à un deuxième type d'émetteur, typiquement de type SVH calculé selon la formule (1.6), différent du première type et d'un troisième vecteur de réception D_k^3 associé au deuxième type de récepteur, initialisé avec le deuxième vecteur de réception, avec un test de sortie du calcul itératif basé sur un seuil de variations du débit entre itérations successives ou basé sur un nombre maximal d'itérations,

et dans lequel seuls les K troisième vecteurs d'émission sont utilisés pour le précodage, l'émission des K vecteurs de réception portent sur les K troisième vecteurs de réception D_k^3 .

De manière alternative à un récepteur MSR donné par l'équation (1.8), il peut être utilisé un récepteur MMSE donné par l'équation suivante :

$$\mathbf{D}_k = \mathbf{T}_k^H \mathbf{H}_k^H \left(\mathbf{H}_k \left(\sum_{i=1}^K \mathbf{T}_i \mathbf{T}_i^H \right) \mathbf{H}_k^H + N_0 \mathbf{I} \right)^{-1} \quad (1.9)$$

Les exemples suivants permettent d'illustrer un procédé selon l'invention.

Le premier exemple est relatif à un système MIMO multi utilisateurs comprenant d'une part une station de base avec $N_T = 4$ antennes d'émission et d'autre part quatre récepteurs associés respectivement à $K = 4$ utilisateurs ayant chacun $N_{R_k} = 4$ antennes de réception. Les simulations prennent en compte des canaux de Rayleigh complètement décorrélés entre les K utilisateurs. Les valeurs utilisées des paramètres sont les suivantes $WIN_{MF} = 5$, $\varepsilon = 10^{-3}$, $\Delta_{MSR} = 5$ et $\varepsilon_{MF} = 10^{-3}$. La

seule condition d'arrêt utilisée consiste à fixer le nombre total d'itérations $N_{\max}^{iter}$ à 50. Les performances ont ainsi été obtenues sans introduction de complexité supplémentaire par rapport à l'algorithme mono-itératif présenté dans [6].

5 La courbe SJNR/MFMSRD du débit total du système en fonction de la puissance totale émise, obtenu avec un algorithme selon l'invention, est représentée sur la figure 4 et sur les figures 5 et 6 qui sont respectivement des loupes de la figure 4. Sur ces mêmes figures sont représentées les valeurs de débit total obtenu avec respectivement un algorithme avec un précodeur SJNR et un récepteur MF dérivé de la référence [6], courbe SJNR/MF, et un algorithme avec un précodeur SJNR et un récepteur MSR décrit dans la référence [6], courbe SJNR/MSR.

10 La comparaison de la courbe SJNR/MFMSRD avec les courbes SJNR/MF et SJNR/MSR permet de relever un gain de l'ordre de 0.5 bits/s/Hz par rapport à la solution SJNR/MF à haut SNR, en référence à la figure 5, sans pour autant pâtir des mauvaises performances de ce dernier algorithme à bas SNR. En effet les courbes de la figure 6 montrent aussi un gain, même s'il est plus faible, par rapport au meilleur algorithme à savoir le SJNR/MSR.

15 Le deuxième exemple est relatif à un système MIMO multi utilisateurs comprenant d'une part une station de base avec $N_T = 2$ antennes d'émission et d'autre part deux récepteurs associés respectivement à $K = 2$ utilisateurs ayant chacun $N_{R_k} = 2$ antennes de réception. Les conditions de simulation sont les mêmes que pour le premier exemple. Les résultats obtenus sont représentés sur les figures 7 et 8, la figure 8 étant une loupe de la figure 7. Les courbes SJNR/MFMSRD, SJNR/MF et
20 SJNR/MSR sont relatives respectivement aux mêmes algorithmes que ceux de la figure 4. La comparaison de la courbe SJNR/MFMSRD avec les courbes SJNR/MF et SJNR/MSR permet de relever un gain, en référence à la figure 8.

Tableau 1

P_{total} (dB)	-10	-7.5	-5	-2.5	0	2.5	5	7.5	10	12.5	15
N_{flip} opt max SR_{mean}	1	1	1	1	1	9	14	22	19	29	12
N_{flip} mean max SR	30.52	30.09	28.93	29.80	29.46	31.21	34.44	40.77	46.88	46.99	44.06
P_{total} (dB)	17.5	20	22.5	25	27.5	30	32.5	35	37.5	40	
N_{flip} opt max SR_{mean}	16	22	25	26	32	45	48	47	47	48	
N_{flip} mean max SR	40.66	42.16	45.76	42.96	37.57	33.02	28.93	26.15	24.02	22.49	

5

Références :

- [1] Yongle Wu, Jinfan Zhang, Mingguang Xu, Shidong Zhou et Xibin Xu, "Multiuser MIMO Downlink Precoder Design Based on the Maximal SJNR Criterion", IEEE GLOBECOM 2005 proceedings, pages 2694-2698.
- 10 [2] H. Wang, X. Xu, M. Zhao, W. Wu, Y. Yao, "Robust Transmission for Multiuser MIMO Downlink Systems with Imperfect CSIT," IEEE WCNC 2008, pages 340-344.
- [3] M. Costa, "Writing on Dirty Paper," IEEE Trans. Inf. Theory, vol. 29, no.3, pp.439-441, May 1983.
- [4] G. Caire and S. Shamai, "On the achievable throughput of a multiantenna Gaussian broadcast channel," IEEE Trans. Inform. Theory, vol.49, no.7, pp.1691-1706, July 2003.
- 15 [5] M. Lee and S.K. Oh, "A Per-User Successive MMSE Precoding Technique in Multiuser MIMO Systems," IEEE Vehicular Technology Conference (VTC2007-Spring), page(s): 2374-2378, 22-25 April 2007.
- [6] M. Amara, Y. Yuan-Wu and D. Slock, "Receiver and Transmitter Iterative Optimization Using Maximum Sum-Rate Criterion for Multi-User MIMO Systems", ISCCSP 2010.
- 20 [7] Stojnic, M., Vikalo, H. et Hassibi, B. "Rate maximization in multi-antenna broadcast channels with linear preprocessing", 2004. GLOBECOM '04. IEEE.

REVENDECATIONS

1. Procédé d'émission simultanée de K flux de données alloués respectivement à K utilisateurs différents, mis en œuvre par un émetteur destiné à un système MIMO multi utilisateurs à N_T antennes d'émission et $N_R = \sum_{k=1}^K N_{R_k}$ antennes de réception associées à K récepteurs associés respectivement à K utilisateurs, caractérisé en ce qu'il comprend au moins par flux de données :
 - la succession de deux algorithmes itératifs différents de calcul conjoint d'un précodeur linéaire et d'un récepteur adaptés pour système MIMO multi utilisateurs, le deuxième algorithme itératif étant initialisé par la valeur de sortie du premier algorithme itératif.
2. Procédé d'émission simultanée de K flux de données alloués respectivement à K utilisateurs différents selon la revendication 1, dans lequel le premier algorithme itératif est adapté pour un premier type de récepteur présentant une variation non stable du débit total et le deuxième algorithme est adapté pour un deuxième type de récepteur présentant une variation strictement croissante du débit total.
3. Procédé d'émission simultanée de K flux de données alloués respectivement à K utilisateurs différents selon la revendication 1 ou 2, dans lequel le premier algorithme itératif est adapté pour un récepteur de type MF et le deuxième algorithme est adapté pour un récepteur de type MSR.
4. Procédé d'émission simultanée de K flux de données alloués respectivement à K utilisateurs différents, mis en œuvre par un émetteur destiné à un système MIMO multi utilisateurs à N_T antennes d'émission et $N_R = \sum_{k=1}^K N_{R_k}$ antennes de réception associées à K récepteurs associés respectivement à K utilisateurs, caractérisé en ce qu'il comprend au moins par flux de données :
 - un calcul itératif conjoint d'un premier vecteur d'émission d'un précodage linéaire et d'un premier vecteur de réception D_k^1 associé à un premier type de récepteur, avec un test de sortie du calcul itératif basé sur un seuil de variations du débit atteint sur une fenêtre donnée d'itérations ou basé sur un nombre maximal d'itérations,
 - un calcul itératif conjoint d'un deuxième vecteur d'émission T_k^2 du précodage linéaire et d'un deuxième vecteur de réception D_k^2 associé à un deuxième type de récepteur différent du premier, initialisé avec le premier vecteur de réception, avec un test de sortie du calcul itératif basé sur un seuil de variations du débit entre itérations successives ou basé sur un nombre maximal d'itérations,
 et en ce qu'il comprend :
 - l'émission des K deuxième vecteurs de réception D_k^2 à destination des K récepteurs recevant les K flux,
 - l'émission des K flux précodés par les respectivement K deuxième vecteurs d'émission.

5. Procédé d'émission simultanée de flux de données alloués à K utilisateurs différents selon la revendication 4, dans lequel le premier vecteur de réception D_k^1 est associé à un algorithme de réception de type MF et dans lequel le deuxième vecteur de réception D_k^2 est associé à un algorithme de réception de type MSR.
6. Procédé d'émission simultanée de flux de données alloués à K utilisateurs différents selon la revendication 1 ou 4, dans lequel le précodage linéaire met en œuvre un algorithme de type appartenant à la liste suivante :
 - SJNR qui maximise un rapport signal sur signal de brouillage et bruit,
 - MMSE qui minimise une erreur quadratique moyenne.
7. Procédé d'émission simultanée de flux de données alloués à K utilisateurs différents selon la revendication 4 dans lequel le premier vecteur d'émission et le deuxième vecteur d'émission sont associés à un premier type d'émetteur, comprenant en outre par flux de données :
 - un calcul itératif conjoint d'un troisième vecteur d'émission du précodage linéaire associé à un deuxième type d'émetteur différent du premier type et d'un troisième vecteur de réception D_k^3 associé au deuxième type de récepteur, initialisé avec le deuxième vecteur de réception, avec un test de sortie du calcul itératif basé sur un seuil de variations du débit entre itérations successives ou basé sur un nombre maximal d'itérations,
 et dans lequel seuls les K troisième vecteurs d'émission sont utilisés pour le précodage, l'émission des K vecteurs de réception portent sur les K troisième vecteurs de réception D_k^3 .
8. Procédé d'émission simultanée de flux de données alloués à K utilisateurs différents selon la revendication 7, dans lequel le deuxième type d'émetteur met en œuvre un algorithme appartenant à la liste suivante :
 - SJNR qui maximise un rapport signal sur signal de brouillage et bruit,
 - MMSE qui minimise une erreur quadratique moyenne
 - SVH qui optimise le débit total.
9. Emetteur (EM) adapté pour un système multi utilisateurs MIMO de télécommunication comprenant N_T antennes d'émission destinées à être connectées à l'émetteur, $N_R = \sum_{k=1}^K N_{R_k}$ antennes de réception et K récepteurs associés respectivement à K utilisateurs et connectés respectivement à N_{R_k} parmi les $N_R = \sum_{k=1}^K N_{R_k}$ antennes de réception, pour émettre simultanément K flux de données alloués respectivement aux K utilisateurs, caractérisé en ce que l'émetteur comprend :
 - K pré-codeurs linéaires de vecteur d'émission T_k pour générer K vecteurs intermédiaires de taille N_T ,
 - par pré-codeur, un moyen de calcul (CALCOD) adapté pour calculer itérativement de manière conjointe un premier vecteur d'émission d'un précodage linéaire et un premier vecteur de

- réception D_k^1 de taille N_{R_k} associé à un premier type de récepteur, avec un test de sortie du calcul itératif basé sur un seuil de variations du débit atteint sur une fenêtre donnée d'itérations ou basé sur un nombre maximal d'itérations, puis pour calculer itérativement de manière conjointe un deuxième vecteur d'émission T_k^2 du précodage linéaire et un deuxième vecteur
- 5 de réception D_k^2 de taille N_{R_k} associé à un deuxième type de récepteur différent du premier, initialisé avec le premier vecteur de réception, avec un test de sortie du calcul itératif basé sur un seuil de variations du débit entre itérations successives ou basé sur un nombre maximal d'itérations, les K vecteurs d'émission des K pré-codeurs linéaires étant égal au deuxième vecteur d'émission T_k^2 ,
- 10 - N_T additionneurs des N_T composantes des K vecteurs intermédiaires pour générer un vecteur d'alimentation des N_T antennes,
- un moyen d'émission des K deuxième vecteurs de réception D_k^2 à destination des K récepteurs.
10. Emetteur (EM) adapté pour un système multi utilisateurs MIMO de télécommunication selon la revendication précédente, dans lequel le premier vecteur de réception D_k^1 de taille N_{R_k} est
- 15 associé à un type de récepteur MF et le deuxième vecteur de réception D_k^2 de taille N_{R_k} est associé à un type de récepteur MSR.
11. Système multi utilisateurs MIMO de télécommunication comprenant un émetteur (EM), N_T
- 20 antennes d'émission connectées à l'émetteur, $N_R = \sum_{k=1}^K N_{R_k}$ antennes de réception et K récepteurs associés respectivement à K utilisateurs et connectés respectivement à N_{R_k} parmi les
- $N_R = \sum_{k=1}^K N_{R_k}$ antennes de réception, caractérisé en ce que :
- l'émetteur comprend :
- 25 - K pré-codeurs linéaires de vecteur d'émission T_k pour générer K vecteurs intermédiaires de taille N_T ,
- par pré-codeur, un moyen de calcul (CALCOD) adapté pour calculer itérativement de manière conjointe un premier vecteur d'émission d'un précodage linéaire et un premier vecteur de
- 30 réception D_k^1 de taille N_{R_k} associé à un premier type de récepteur, avec un test de sortie du calcul itératif basé sur un seuil de variations du débit atteint sur une fenêtre donnée d'itérations ou basé sur un nombre maximal d'itérations, puis pour calculer itérativement de manière conjointe un deuxième vecteur d'émission T_k^2 du précodage linéaire et un deuxième vecteur
- de réception D_k^2 de taille N_{R_k} associé à un deuxième type de récepteur différent du premier, initialisé avec le premier vecteur de réception, avec un test de sortie du calcul itératif basé sur
- 35 un seuil de variations du débit entre itérations successives ou basé sur un nombre maximal d'itérations, les K vecteurs d'émission des K pré-codeurs linéaires étant égal au deuxième vecteur d'émission T_k^2 ,

- N_T additionneurs des N_T composantes des K vecteurs intermédiaires pour générer un vecteur d'alimentation des N_T antennes,
 - un moyen d'émission des K deuxième vecteurs de réception D_k^2 à destination des K récepteurs
- 5 et en ce que chaque récepteur k comprend :
- un moyen de réception du vecteur de réception D_k^2 qui maximise le débit du flux k ,
 - un décodeur linéaire adapté pour extraire le flux k parmi les K flux au moyen du vecteur de réception D_k^2 , un moyen pour estimer la matrice H_k du canal de propagation, et en ce qu'il comprend associé à chaque récepteur k : un moyen pour émettre la matrice H_k à destination
- 10 de l'émetteur.
12. Système multi utilisateurs MIMO de télécommunication selon la revendication précédente, dans lequel le premier vecteur de réception D_k^1 de taille N_{R_k} est associé à un type de récepteur MF et le deuxième vecteur de réception D_k^2 de taille N_{R_k} est associé à un type de récepteur MSR
- 15 13. Programme d'ordinateur sur un support d'informations, ledit programme comportant des instructions de programme adaptées à la mise en œuvre d'un procédé d'émission simultanée de K flux de données alloués respectivement à K utilisateurs différents, mis en œuvre par un émetteur destiné à un système multi utilisateurs MIMO à N_T antennes d'émission et $N_R = \sum_{k=1}^K N_{R_k}$
- 20 antennes de réception associées à K récepteurs associés respectivement à K utilisateurs selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, lorsque ledit programme est chargé et exécuté dans un émetteur (EM) destiné à mettre en œuvre le procédé d'émission.
14. Support d'informations comportant des instructions de programme adaptées à la mise en œuvre d'un procédé d'émission simultanée de K flux de données alloués respectivement à K utilisateurs différents, mis en œuvre par un émetteur destiné à un système multi utilisateurs MIMO à N_T
- 25 antennes d'émission et $N_R = \sum_{k=1}^K N_{R_k}$ antennes de réception associées à K récepteurs associés respectivement à K utilisateurs, selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, lorsque ledit programme est chargé et exécuté dans un émetteur (EM) destiné à mettre en œuvre le procédé d'émission.

1/5

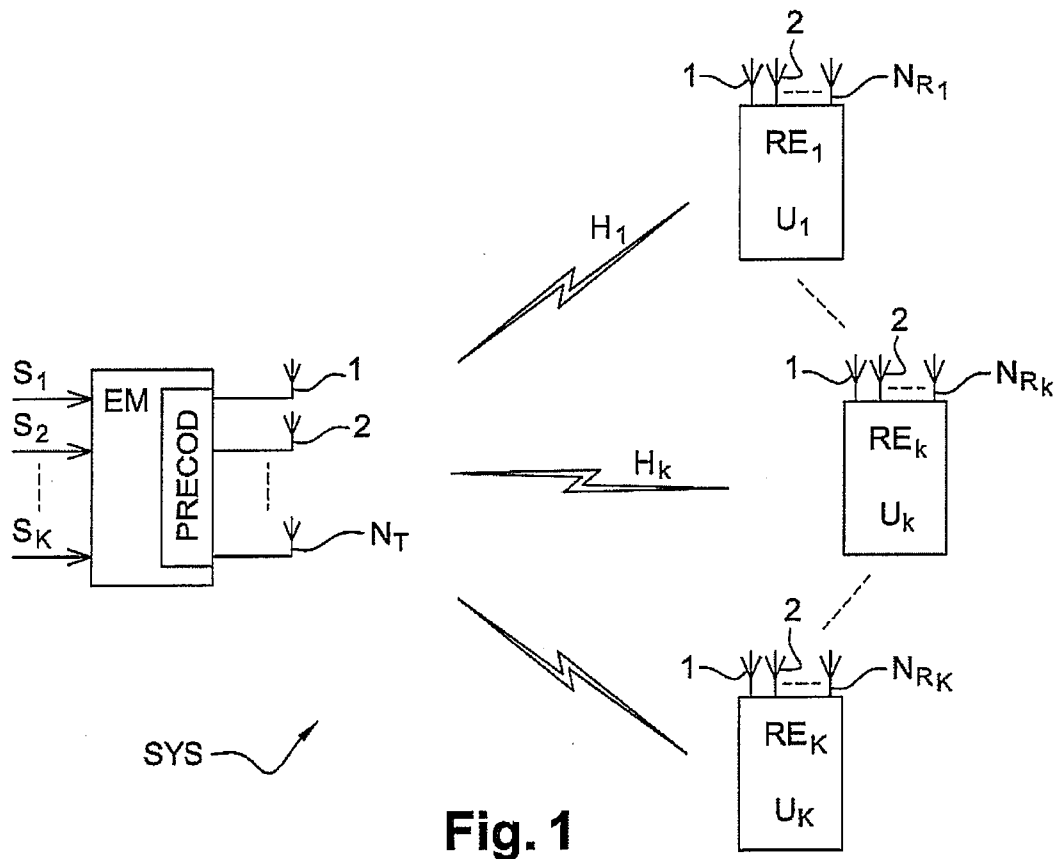


Fig. 1

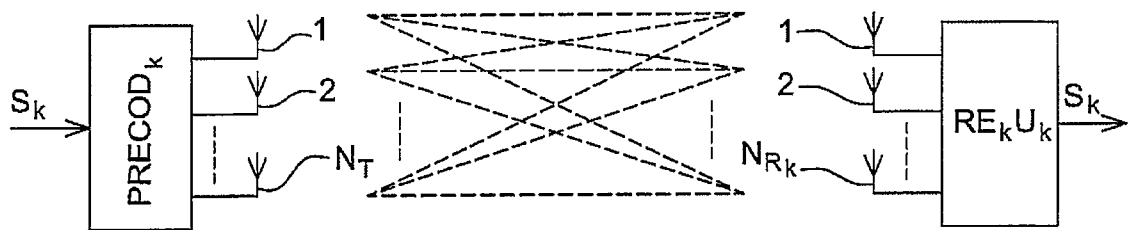


Fig. 2

2 / 5

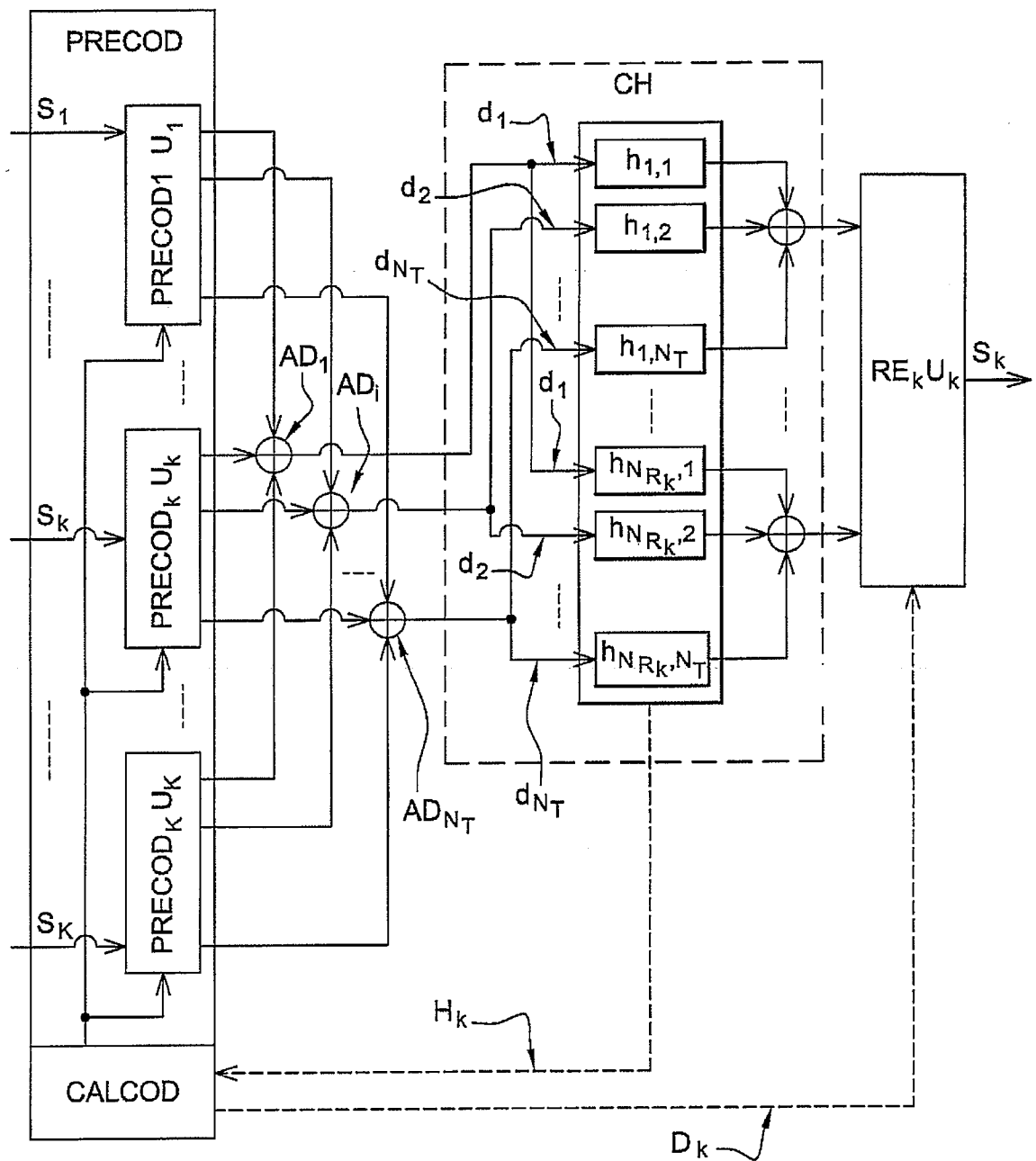
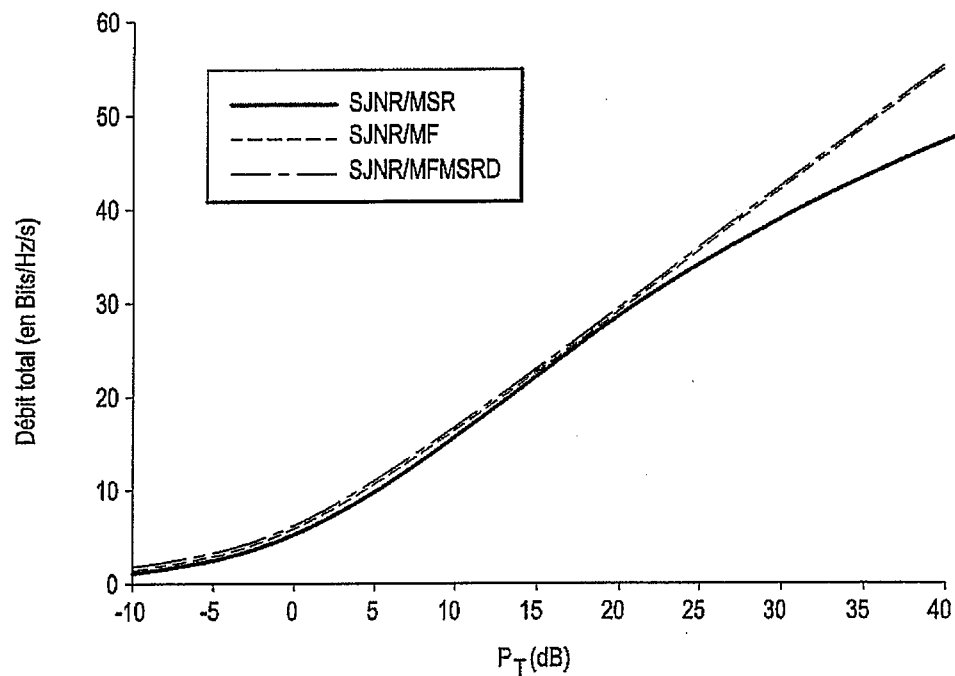
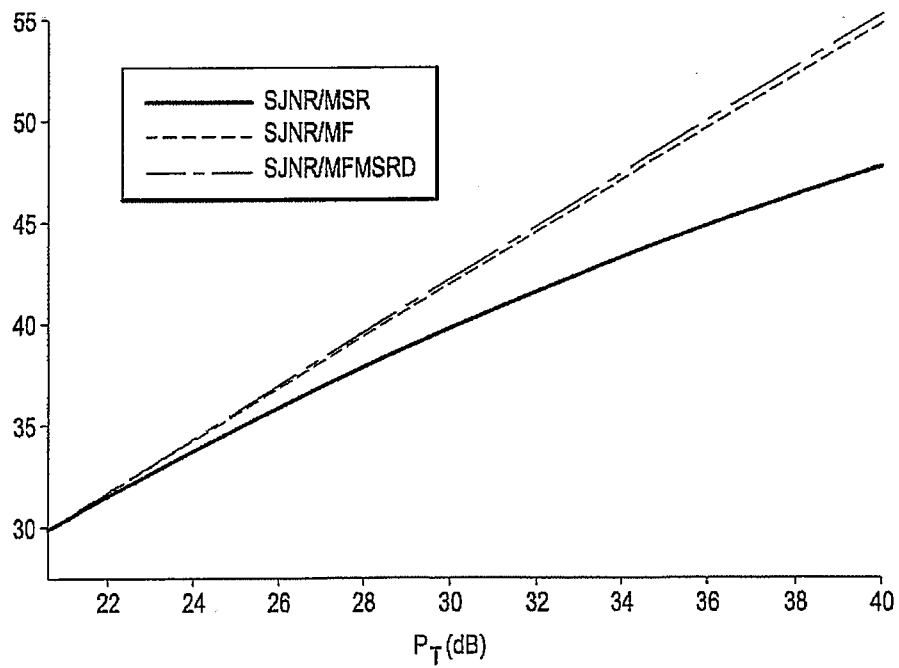
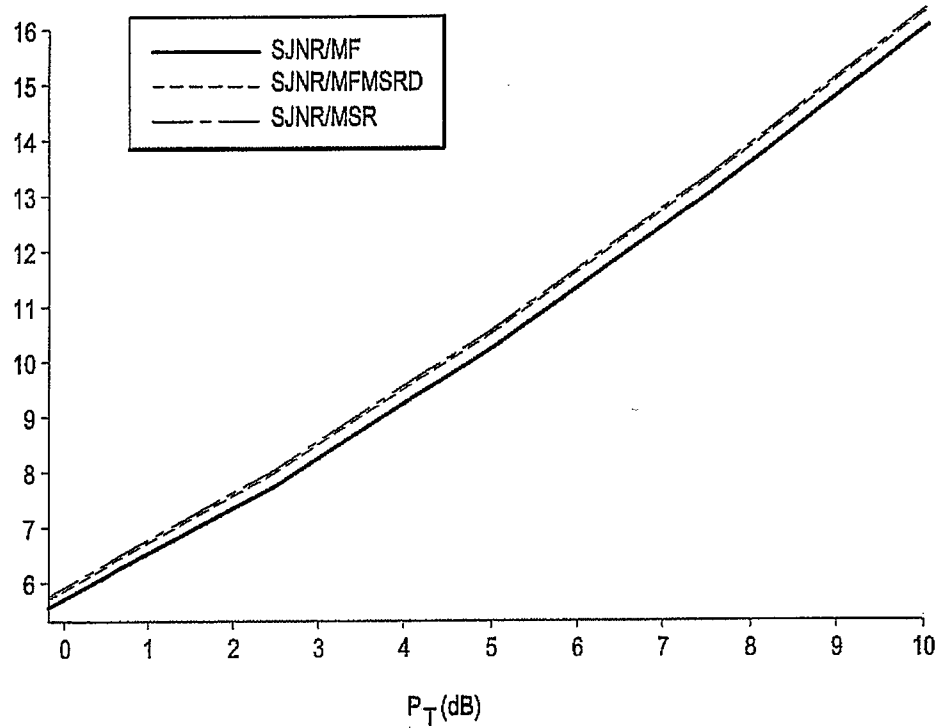
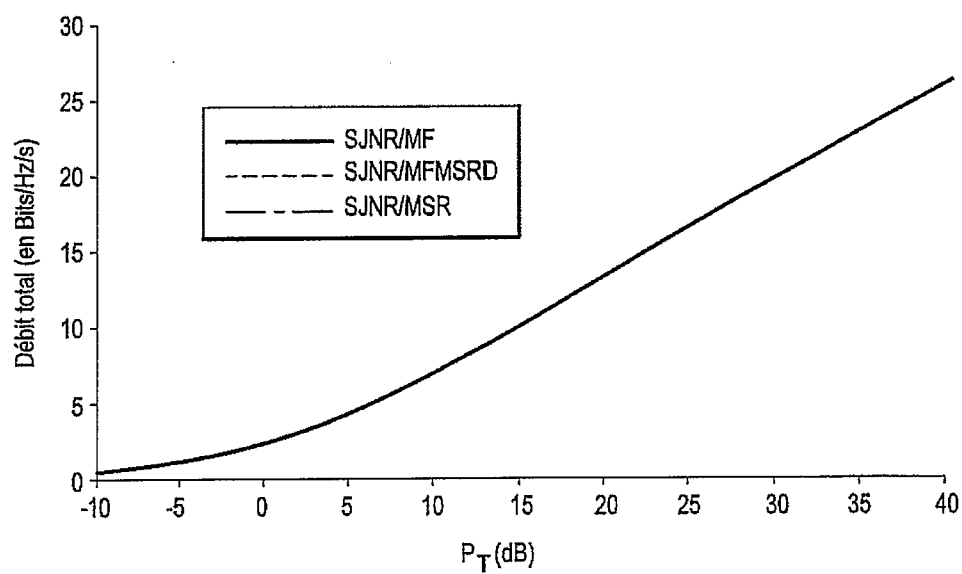


Fig. 3

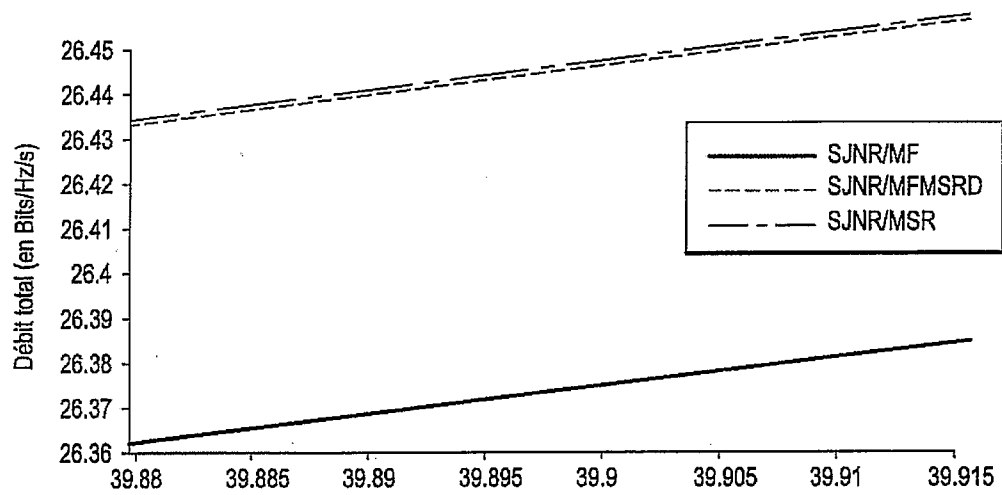
3 / 5

**Fig. 4****Fig. 5**

4 / 5

**Fig. 6****Fig. 7**

5 / 5

**Fig. 8**

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2011/050503

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. H04B7/04

ADD. H04B7/08

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H04B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	MUSTAPHA AMARA ET AL: "Receiver and transmitter iterative optimization using maximum sum-rate criterion for Multi-User MIMO systems", COMMUNICATIONS, CONTROL AND SIGNAL PROCESSING (ISCCSP), 2010 4TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 3 March 2010 (2010-03-03), pages 1-6, XP031675687, ISBN: 978-1-4244-6285-8 the whole document ----- -/--	1-14



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

12 July 2011

Date of mailing of the international search report

19/07/2011

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Martínez Cebollada

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/FR2011/050503

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	HONGMEI WANG ET AL: "PHY 13-4 - Robust Transmission for Multiuser MIMO Downlink Systems with Imperfect CSIT", WIRELESS COMMUNICATIONS AND NETWORKING CONFERENCE, 2008. WCNC 2008. IEEE, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 31 March 2008 (2008-03-31), pages 340-344, XP031243650, ISBN: 978-1-4244-1997-5 cited in the application the whole document	1-14
A	----- JINFAN ZHANG ET AL: "Joint linear transmitter and receiver design for the downlink of multiuser MIMO systems", IEEE COMMUNICATIONS LETTERS, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, vol. 9, no. 11, 1 November 2005 (2005-11-01), pages 991-993, XP001512789, ISSN: 1089-7798, DOI: DOI:10.1109/LCOMM.2005.11009 cited in the application the whole document	1-14
A	----- MUSTAPHA AMARA ET AL: "Optimized linear receivers and power allocation for two Multi-User MIMO downlink schemes with linear precoding", COMMUNICATIONS, CONTROL AND SIGNAL PROCESSING (ISCCSP), 2010 4TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 3 March 2010 (2010-03-03), pages 1-5, XP031675686, ISBN: 978-1-4244-6285-8 the whole document	1-14
A	----- US 2008/159425 A1 (KHOJASTEPOUR MOHAMMAD A [US] ET AL) 3 July 2008 (2008-07-03) the whole document paragraph [0059]	1-14
A	----- KYUNGHO PARK ET AL: "Adaptive stack-based iterative precoding for the multiuser MIMO downlink", PERSONAL, INDOOR AND MOBILE RADIO COMMUNICATIONS, 2008. PIMRC 2008. IEEE 19TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 15 September 2008 (2008-09-15), pages 1-5, XP031371323, ISBN: 978-1-4244-2643-0 the whole document -----	1-14

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/FR2011/050503

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2008159425	A1	03-07-2008	NONE

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2011/050503

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE

INV. H04B7/04

ADD. H04B7/08

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

H04B

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	MUSTAPHA AMARA ET AL: "Receiver and transmitter iterative optimization using maximum sum-rate criterion for Multi-User MIMO systems", COMMUNICATIONS, CONTROL AND SIGNAL PROCESSING (ISCCSP), 2010 4TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 3 mars 2010 (2010-03-03), pages 1-6, XP031675687, ISBN: 978-1-4244-6285-8 le document en entier ----- -/-	1-14



Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents



Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date

"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)

"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens

"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

12 juillet 2011

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

19/07/2011

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Martínez Cebollada

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	HONGMEI WANG ET AL: "PHY 13-4 - Robust Transmission for Multiuser MIMO Downlink Systems with Imperfect CSIT", WIRELESS COMMUNICATIONS AND NETWORKING CONFERENCE, 2008. WCNC 2008. IEEE, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 31 mars 2008 (2008-03-31), pages 340-344, XP031243650, ISBN: 978-1-4244-1997-5 cité dans la demande le document en entier	1-14
A	JINFAN ZHANG ET AL: "Joint linear transmitter and receiver design for the downlink of multiuser MIMO systems", IEEE COMMUNICATIONS LETTERS, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, vol. 9, no. 11, 1 novembre 2005 (2005-11-01), pages 991-993, XP001512789, ISSN: 1089-7798, DOI: DOI:10.1109/LCOMM.2005.11009 cité dans la demande le document en entier	1-14
A	MUSTAPHA AMARA ET AL: "Optimized linear receivers and power allocation for two Multi-User MIMO downlink schemes with linear precoding", COMMUNICATIONS, CONTROL AND SIGNAL PROCESSING (ISCCSP), 2010 4TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 3 mars 2010 (2010-03-03), pages 1-5, XP031675686, ISBN: 978-1-4244-6285-8 le document en entier	1-14
A	US 2008/159425 A1 (KHOJASTEPOUR MOHAMMAD A [US] ET AL) 3 juillet 2008 (2008-07-03) le document en entier alinéa [0059]	1-14
A	KYUNGHO PARK ET AL: "Adaptive stack-based iterative precoding for the multiuser MIMO downlink", PERSONAL, INDOOR AND MOBILE RADIO COMMUNICATIONS, 2008. PIMRC 2008. IEEE 19TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 15 septembre 2008 (2008-09-15), pages 1-5, XP031371323, ISBN: 978-1-4244-2643-0 le document en entier	1-14

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

PCT/FR2011/050503

Document brevet cité
au rapport de recherche

Date de publication

Membre(s) de la
famille de brevet(s)

Date de publication

US 2008159425	A1	03-07-2008	AUCUN
---------------	----	------------	-------