(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle
Bureau international

(43) Date de la publication internationale
19 avril 2018 (19.04.2018)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2018/069653 A1

(51) Classification internationale des brevets :
H04B 7/0456 (2017.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2017/052811

(22) Date de dépôt international :
12 octobre 2017 (12.10.2017)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1659993 14 octobre 2016 (14.10.2016) FR

(71) Déposant : **ORANGE** [FR/FR] ; 78 rue Olivier de Serres, 75015 Paris (FR).

(72) Inventeurs : **TABIKH, Wassim** ; Orange Gardens - IMT/OLR/IPL/Patents -, 44 avenue de la République -, CS 50010, 92326 Châtillon Cedex (FR). **YUAN, Julie** ; Orange Gardens - IMT/OLR/IPL/Patents -, 44 avenue de la République -, CS 50010, 92326 Châtillon Cedex (FR). **SLOCK, Dirk** ; Orange Gardens - IMT/OLR/IPL/Patents -, 44 avenue de la République -, CS 50010, 92326 Châtillon Cedex (FR).

(74) Mandataire : **ORANGE IMT/OLR/IPL/PATENTS** ; JEUNE Pascale, Orange Gardens -, 44 avenue de la République - CS 50010, 92326 Châtillon Cedex (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, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR,

(54) **Title:** PRECODERS CONSTRUCTED ON THE BASIS OF PARAMETERS FOR ESTIMATING TRANSMISSION CHANNELS

(54) **Titre :** PRÉCODEURS CONSTRUITS À PARTIR DE PARAMÈTRES D'ESTIMATION DE CANAUX DE TRANSMISSION

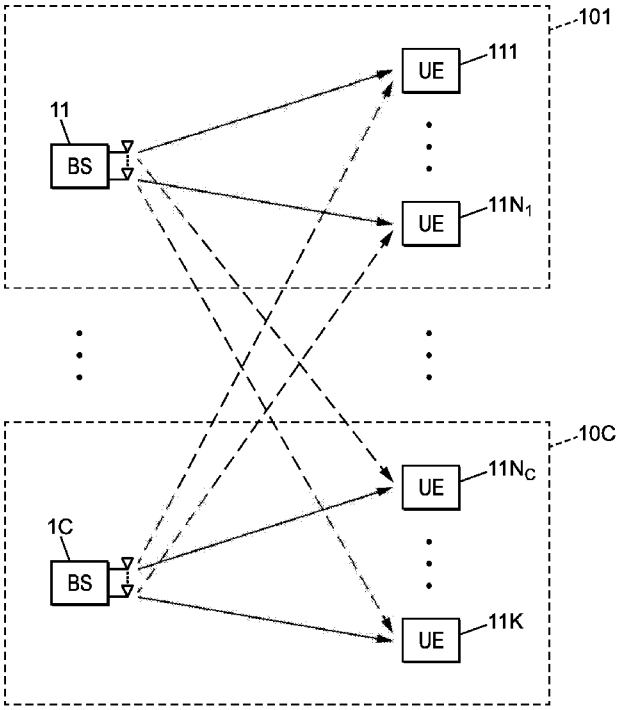


FIG. 1

(57) **Abstract:** The invention relates to a signal processing method for a communication system comprising base stations (11, 1C) capable of serving user terminals (111, $11N_1$, $11N_C$, 11K), comprising: - receiving parameters (401) relating to transmission channel estimations; - iteratively calculating a plurality of transmission covariance matrices (205) on the basis of at least one received parameter (401); - taking account of the calculated transmission covariance matrices in order to transmit signals by the base station to the terminals.

(57) **Abrégé :** La présente invention concerne un procédé de traitement de signal pour un système de communication comprenant des stations (11, 1C) de base aptes à servir des terminaux d'utilisateurs (111, $11N_1$, $11N_C$, 11K), comportant

[Suite sur la page suivante]

WO 2018/069653 A1

HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, 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, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, 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, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée:

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

: - réception de paramètres (401) relatifs à des estimations de canaux de transmission; - calcul itératif d'une pluralité de matrices de covariance de transmission (205) à partir d'au moins un paramètre reçu (401); - prise en compte des matrices de covariance de transmission calculées pour émettre des signaux par les stations de base vers les terminaux.

PRECODEURS CONSTRUITS A PARTIR DE PARAMETRES D'ESTIMATION DE CANAUX DE TRANSMISSION

La présente invention concerne le domaine des télécommunications, notamment les systèmes de communication comportant une pluralité de dispositifs émetteurs et une pluralité de dispositifs récepteurs, tels que les systèmes entrées multiples sorties multiples, ou MIMO pour « Multiple-Input Multiple-Output » en anglais.

Plus particulièrement, l'invention propose un procédé de traitement d'un signal à émettre par un dispositif émetteur vers un dispositif récepteur, incluant une construction efficace de matrices de précodage.

De manière non limitative, l'invention a une application privilégiée dans le cas d'un réseau de télécommunications sans fil multicellulaire, en voie descendante, dans lequel les dispositifs émetteurs sont par exemple des stations de base, chaque station de base étant associée à une cellule du réseau et pouvant servir une pluralité d'utilisateurs munis de dispositifs récepteurs tels que des terminaux.

Un tel réseau est notamment soumis à des interférences multi-utilisateurs, qui représentent un obstacle majeur dans les réseaux de télécommunications sans fil. Il est connu de modéliser les liaisons entre les stations de base et les terminaux, ainsi que la topologie d'interférences en résultant, par un canal à interférences, ou IBC pour « Interférence Broadcast Channel » en anglais. Un canal IBC modélise un système (ou de façon équivalente, un réseau) de communication dans lequel plusieurs dispositifs émetteurs essaient de communiquer avec plusieurs dispositifs récepteurs mais chaque dispositif récepteur n'est lié qu'à un unique dispositif émetteur.

Des techniques d'élimination de telles interférences existent, telles que les méthodes d'alignement d'interférence, ou IA pour « Interference Alignment » en anglais, qui proposent de confiner les interférences vues par un dispositif récepteur particulier dans un sous-espace vectoriel de dimension réduite en appliquant au signal utile, au niveau du dispositif émetteur servant ce dispositif récepteur, une matrice de précodage.

Ces techniques nécessitent généralement une connaissance parfaite de l'état de canal, ou CSI pour « Channel State Information » en anglais, au niveau de l'émetteur.

En pratique, l'état de canal de l'émetteur n'est pas connu parfaitement, et on ne dispose que de certains paramètres d'estimation de cet état de canal, tels que l'estimé de la matrice de canal (que

l'on appelle « estimé de canal ») ou la matrice de covariance de l'erreur d'estimation.

Des méthodes ont été développées dans le cas où l'état de canal n'est pas connu parfaitement, qui reposent sur l'utilisation de paramètres d'estimation. Toutefois, ces méthodes ne fournissent généralement pas des résultats complètement satisfaisants, notamment car elles n'exploitent pas suffisamment les informations contenues dans la matrice de covariance de l'erreur d'estimation. Par ailleurs, certaines de ces méthodes ne peuvent pas être utilisées dans le cas où l'estimé de canal est nul et où on dispose seulement des matrices de covariance de l'erreur d'estimation.

Il y a ainsi un besoin pour des méthodes utilisant de manière optimale les informations issues des différents paramètres d'estimation de canaux de transmission.

La présente invention vient améliorer la situation.

A cet effet, la présente invention propose une méthode de traitement d'un signal pour un système de communications pour lequel la connaissance de l'état de canal est imparfaite, qui repose sur l'utilisation conjointe d'un estimé du canal de communication et de la matrice de covariance de l'erreur d'estimation du canal.

La présente invention vise alors un procédé de traitement de signal pour un système de communication comprenant des stations de base, chaque station de base étant apte à servir un ensemble respectif de terminaux d'utilisateurs, le procédé comportant :

- la réception d'une pluralité de paramètres, relatifs chacun à une estimation du canal de transmission d'une station de base vers un terminal ;

- le calcul itératif d'une pluralité de matrices de covariance de transmission, chaque matrice de covariance de transmission étant relative à un terminal, le calcul comprenant au moins une itération des étapes suivantes :

pour chaque station de base parmi les stations de base :

a) pour chaque terminal parmi l'ensemble respectif de terminaux, calcul d'une première matrice en fonction d'au moins un paramètre parmi la pluralité de paramètres et d'au moins une matrice de covariance de transmission parmi la pluralité de matrices de covariance de transmission ;

b) pour chaque terminal parmi l'ensemble respectif de terminaux, mise à jour de la matrice de covariance de transmission associée audit terminal, à partir d'au moins un paramètre parmi la pluralité de paramètres, d'au moins une matrice de covariance de transmission parmi la pluralité de matrices de covariance de transmission et de la première matrice calculée pour ledit terminal ;

- prise en compte des matrices de covariance de transmission mises à jour pour émettre des signaux par les stations de base vers les terminaux.

Les paramètres d'estimation reçus peuvent être, pour chaque station de base b_j et pour chaque terminal i :

- un estimé $\bar{\mathbf{H}}_{\mathbf{i},\mathbf{b_j}}$ du canal de transmission de ladite station de base b_j vers ledit terminal i ; et

- une matrice de covariance $\mathbf{C}_{p,i,b_j}$ d'une erreur d'estimation du canal de transmission de ladite station de base b_j vers ledit terminal i.

Un tel procédé permet de calculer des matrices de précodage dans le cas d'un système de télécommunication dans lequel les canaux ne sont pas connus parfaitement, en exploitant au maximum les informations contenues dans les paramètres d'estimation de ces canaux. En particulier, la méthode fait apparaître des équations dans lesquelles figurent un certain nombre de termes dépendant de $\mathbf{C}_{p,i,b_j}$, ce qui fait que l'information contenue dans les matrices de covariance des erreurs d'estimation est avantageusement utilisée.

En outre, l'étape a) peut comprendre, pour chaque terminal parmi les ensembles de terminaux, le calcul d'au moins une matrice de covariance relative à des interférences entre ledit terminal et des terminaux, tous distincts dudit terminal, parmi les ensembles de terminaux. Le calcul de la première matrice pour un terminal parmi l'ensemble respectif de terminaux peut alors être fonction d'au moins une matrice de covariance relative à des interférences entre ledit terminal et des terminaux, tous distincts dudit terminal.

Ainsi, les différentes interférences possibles sont avantageusement prises en compte dans le calcul des matrices de précodage.

Avantageusement, les matrices de covariance relatives à des interférences entre un terminal donné et une pluralité de terminaux sont des fonctions d'au moins un paramètre d'estimation et d'au moins une matrice de covariance de transmission.

Dans un mode de réalisation, deux matrices de covariance relatives à des interférences sont calculées pour chaque terminal k parmi les K terminaux. Ainsi, le procédé comporte :

- le calcul d'une première matrice de covariance $\breve{\mathbf{R}}_{\bar{\imath},\bar{k}}$ relative à des interférences entre ledit terminal k et une pluralité de terminaux et

- le calcul d'une deuxième matrice de covariance $\breve{\mathbf{R}}_{i,\bar{k}}$ relative à des interférences entre ledit

terminal k et une pluralité de terminaux.

Selon un mode de réalisation, pour chaque terminal k, la première matrice de covariance $\breve{\mathbf{R}}_{\bar{\imath},\bar{k}}$ relative à des interférences est fonction de $\sum_{j\neq i,j\neq k}^{K} \mathrm{tr}\left\{\mathbf{Q}_j \mathbf{C}_{p,i,b_j}\right\}$ et la deuxième matrice de covariance $\breve{\mathbf{R}}_{i,\bar{k}}$ relative à des interférences est fonction de $\sum_{j\neq k}^{K} \mathrm{tr}\left\{\mathbf{Q}_j \mathbf{C}_{p,i,b_j}\right\}$, où $\mathbf{Q}_j$ est la matrice de covariance de transmission associée à un terminal j et $\mathrm{tr}\{\mathbf{M}\}$ est une trace d'une matrice $\mathbf{M}$.

Plus particulièrement, la première matrice de covariance $\breve{\mathbf{R}}_{\bar{\imath},\bar{k}}$ relative à des interférences peut être fonction de $\sum_{j\neq i,j\neq k}^{K} \left[\bar{\mathbf{H}}_{i,b_j} \mathbf{Q}_j \bar{\mathbf{H}}_{i,b_j}^{H} + \mathrm{tr}\left\{\mathbf{Q}_j \mathbf{C}_{p,i,b_j}\right\} \mathbf{K_1}\right]$, et la deuxième matrice de covariance $\breve{\mathbf{R}}_{i,\bar{k}}$ relative à des interférences peut être fonction de $\sum_{j\neq k}^{K} \left[\bar{\mathbf{H}}_{i,b_j} \mathbf{Q}_j \bar{\mathbf{H}}_{i,b_j}^{H} + \mathrm{tr}\left\{\mathbf{Q}_j \mathbf{C}_{p,i,b_j}\right\} \mathbf{K_3}\right]$, où $\mathbf{Q}_j$ est la matrice de covariance de transmission associée à un terminal j, et $\mathbf{K_1}$ et $\mathbf{K_3}$ sont des matrices qui ne dépendent pas d'une station de base ou d'un terminal.

En particulier, les matrices $\mathbf{K_1}$ et $\mathbf{K_3}$ peuvent être choisies comme étant égales à un scalaire (qui peut être différent pour $\mathbf{K_1}$ et $\mathbf{K_3}$) multiplié par une matrice identité.

Selon ce mode de réalisation, pour une station de base b_k donnée et pour un terminal k parmi l'ensemble respectif de terminaux associé à b_k, la première matrice peut être exprimée comme étant une fonction de $\breve{\mathbf{A}}_{i,k}^{C}$ et $\breve{\mathbf{A}}_{i,k}^{D}$, avec :

$$\breve{\mathbf{A}}_{i,k}^{C} = \bar{\mathbf{H}}_{i,b_k}^{H} \breve{\mathbf{R}}_{\bar{\imath},\bar{k}}^{-1} \bar{\mathbf{H}}_{i,b_k} + \mathrm{tr}\{\breve{\mathbf{R}}_{\bar{\imath},\bar{k}}^{-1} \mathbf{K_2}\} \mathbf{C}_{p,i,b_k} \quad ; \text{ et}$$

$$\breve{\mathbf{A}}_{i,k}^{D} = \bar{\mathbf{H}}_{i,b_k}^{H} \breve{\mathbf{R}}_{i,\bar{k}}^{-1} \bar{\mathbf{H}}_{i,b_k} + \mathrm{tr}\{\breve{\mathbf{R}}_{i,\bar{k}}^{-1} \mathbf{K_4}\} \mathbf{C}_{p,i,b_k} \quad ;$$

où $\mathbf{K_2}$ et $\mathbf{K_4}$ sont des matrices qui ne dépendent pas d'une station de base ou d'un terminal, $\mathbf{M^H}$ est une matrice adjointe d'une matrice $\mathbf{M}$ et $\mathbf{M^{-1}}$ est une matrice inverse d'une matrice $\mathbf{M}$.

Là encore, les matrices $\mathbf{K_2}$ et $\mathbf{K_4}$ peuvent être choisies comme étant égales à un scalaire (qui peut être différent pour $\mathbf{K_2}$ et $\mathbf{K_4}$) multiplié par une matrice identité.

Selon un mode de réalisation particulier, le procédé comprend en outre la réception d'une pluralité de coefficients de pondération, chaque coefficient de pondération u_i étant associé à un terminal i parmi les ensembles de terminaux. La première matrice peut alors s'écrire :

$$\breve{\mathbf{A}}_k = \sum_{i\neq k}^{K} u_i \left[\breve{\mathbf{A}}_{i,k}^{C} \left(\mathbf{I}_{M_{b_k}} + \mathbf{Q}_k \breve{\mathbf{A}}_{i,k}^{C}\right)^{-1} - \breve{\mathbf{A}}_{i,k}^{D} \left(\mathbf{I}_{M_{b_k}} + \mathbf{Q}_k \breve{\mathbf{A}}_{i,k}^{D}\right)^{-1}\right]$$

Les coefficients de pondération peuvent tous être égaux, si aucun terminal ne doit être privilégié

par rapport à un autre. Alternativement, il est possible d'attribuer des poids plus grands à des terminaux auxquels on souhaite attribuer un débit plus important.

En variante au mode de réalisation précédent, le procédé peut en outre comprendre, pour chaque terminal i parmi les ensembles de terminaux, une réception d'une matrice de covariance $\mathbf{C}_{r,i}$ relative à une réception de signal par ledit terminal i. Dans ce cas, la première matrice de covariance $\breve{\mathbf{R}}_{\bar{i},\bar{k}}$ relative à des interférences peut s'exprimer comme une fonction de $\sum_{j\neq i,j\neq k}^{K}\left[\bar{\mathbf{H}}_{i,b_j}\mathbf{Q}_j\bar{\mathbf{H}}_{i,b_j}^{H}+\mathrm{tr}\left\{\mathbf{Q}_j\mathbf{C}_{p,i,b_j}\right\}\mathbf{C}_{r,i}\right]$, et la deuxième matrice de covariance $\breve{\mathbf{R}}_{i,\bar{k}}$ relative à des interférences peut s'exprimer comme une fonction de : $\sum_{j\neq k}^{K}\left[\bar{\mathbf{H}}_{i,b_j}\mathbf{Q}_j\bar{\mathbf{H}}_{i,b_j}^{H}+\mathrm{tr}\left\{\mathbf{Q}_j\mathbf{C}_{p,i,b_j}\right\}\mathbf{C}_{r,i}\right]$.

Le procédé peut en outre comprendre la réception d'une valeur σ^2 relative à une variance associée à un bruit de signal. Dans ce cas la première matrice de covariance $\breve{\mathbf{R}}_{\bar{i},\bar{k}}$ relative à des interférences peut s'écrire $\breve{\mathbf{R}}_{\bar{i},\bar{k}}=\sum_{j\neq i,j\neq k}^{K}\left[\bar{\mathbf{H}}_{i,b_j}\mathbf{Q}_j\bar{\mathbf{H}}_{i,b_j}^{H}+\mathrm{tr}\left\{\mathbf{Q}_j\mathbf{C}_{p,i,b_j}\right\}\mathbf{C}_{r,i}\right]+\sigma^2\mathbf{I}$ et la deuxième matrice de covariance $\breve{\mathbf{R}}_{i,\bar{k}}$ relative à des interférences peut s'écrire $\breve{\mathbf{R}}_{i,\bar{k}}=\sum_{j\neq k}^{K}\left[\bar{\mathbf{H}}_{i,b_j}\mathbf{Q}_j\bar{\mathbf{H}}_{i,b_j}^{H}+\mathrm{tr}\left\{\mathbf{Q}_j\mathbf{C}_{p,i,b_j}\right\}\mathbf{C}_{r,i}\right]++\sigma^2\mathbf{I}$, où $\mathbf{I}$ est une matrice identité.

Pour une station de base b_k et pour chaque terminal k parmi l'ensemble respectif de terminaux, la première matrice peut alors s'écrire comme une fonction de $\breve{\mathbf{A}}_{i,k}^{C}$ et $\breve{\mathbf{A}}_{i,k}^{D}$, avec :

$$\breve{\mathbf{A}}_{i,k}^{C}=\bar{\mathbf{H}}_{i,b_k}^{H}\breve{\mathbf{R}}_{\bar{i},\bar{k}}^{-1}\bar{\mathbf{H}}_{i,b_k}+\mathrm{tr}\{\breve{\mathbf{R}}_{\bar{i},\bar{k}}^{-1}\mathbf{C}_{r,i}\}\mathbf{C}_{p,i,b_k}\quad\text{et}\quad\breve{\mathbf{A}}_{i,k}^{D}=\bar{\mathbf{H}}_{i,b_k}^{H}\breve{\mathbf{R}}_{i,\bar{k}}^{-1}\bar{\mathbf{H}}_{i,b_k}+\mathrm{tr}\{\breve{\mathbf{R}}_{i,\bar{k}}^{-1}\mathbf{C}_{r,i}\}\mathbf{C}_{p,i,b_k}\quad.$$

Selon un mode de réalisation particulier, le procédé comprend en outre la réception d'une pluralité de coefficients de pondération, chaque coefficient de pondération u_i étant associé à un terminal i parmi les ensembles de terminaux. La première matrice peut alors s'écrire :

$$\breve{\mathbf{A}}_k=\sum_{i\neq k}^{K}u_i\left[\breve{\mathbf{A}}_{i,k}^{C}\left(\mathbf{I}_{M_{b_k}}+\mathbf{Q}_k\breve{\mathbf{A}}_{i,k}^{C}\right)^{-1}-\breve{\mathbf{A}}_{i,k}^{D}\left(\mathbf{I}_{M_{b_k}}+\mathbf{Q}_k\breve{\mathbf{A}}_{i,k}^{D}\right)^{-1}\right]$$

Les coefficients de pondération peuvent tous être égaux, si aucun terminal ne doit être privilégié par rapport à un autre. Alternativement, il est possible d'attribuer des poids plus grands à des terminaux auxquels on souhaite attribuer un débit plus important.

Un dispositif destiné au traitement d'un signal pour un système de communication comprenant des stations de base, chaque station de base étant apte à servir un ensemble respectif de terminaux d'utilisateurs peut être avantageux, en lui-même, dès lors qu'il permet de calculer des matrices de covariance de transmission qui peuvent être utilisées pour traiter et émettre des signaux par les

stations de base vers les terminaux.

Ainsi, la présente invention vise également un dispositif comportant :

- une interface d'entrée pour recevoir une pluralité de paramètres relatifs chacun à une estimation d'un canal de transmission d'une station de base parmi les stations de base vers un terminal parmi les ensembles de terminaux ;

- un circuit pour un calcul itératif d'une pluralité de matrices de covariance de transmission, chaque matrice de covariance de transmission étant relative à un terminal parmi les ensembles de terminaux,

le calcul comprenant au moins une itération comportant :

pour chaque station de base parmi les stations de base :

a) pour chaque terminal parmi l'ensemble respectif de terminaux, calcul d'une première matrice en fonction d'au moins un paramètre parmi la pluralité de paramètres et d'au moins une matrice de covariance de transmission parmi la pluralité de matrices de covariance de transmission ;

b) pour chaque terminal parmi l'ensemble respectif de terminaux, mise à jour de la matrice de covariance de transmission associée audit terminal, à partir d'au moins un paramètre parmi la pluralité de paramètres, d'au moins une matrice de covariance de transmission parmi la pluralité de matrices de covariance de transmission et de la première matrice calculée pour ledit terminal ;

- une interface de sortie pour fourniture des matrices de covariance de transmission mises à jour aux stations de base.

Un programme informatique, mettant en œuvre tout ou partie du procédé décrit ci-avant, installé sur un équipement préexistant, est en lui-même avantageux.

Ainsi, la présente invention vise également un programme informatique comportant des instructions pour la mise en œuvre du procédé précédemment décrit, lorsque ce programme est exécuté par un processeur.

Ce programme peut utiliser n'importe quel langage de programmation (par exemple, un langage objet ou autre), et être sous la forme d'un code source interprétable, d'un code partiellement compilé ou d'un code totalement compilé.

La figure 2 décrite en détails ci-après, peut former l'organigramme de l'algorithme général d'un tel programme informatique.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront encore à la lecture de la description qui va suivre. Celle-ci est purement illustrative et doit être lue en regard des dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 illustre un système de télécommunications dans lequel peut être utilisée l'invention, selon un mode de réalisation ;
- la figure 2 illustre un ordinogramme d'une réalisation possible dans un mode de réalisation de l'invention ;
- la figure 3 illustre une mise à jour des matrices de covariance de transmission, selon un mode de réalisation de l'invention ;
- la figure 4 illustre un dispositif de traitement de signal selon un mode de réalisation de l'invention ;
- les figures 5a et 5b illustrent des résultats de simulations, pour différents algorithmes existants et pour la présente invention réalisée selon un mode de réalisation particulier.

La figure 4 représente un exemple de dispositif de traitement d'un signal à émettre depuis dispositif émetteur vers un dispositif récepteur, dans un mode de réalisation de l'invention.

Dans ce mode de réalisation, le dispositif comporte un ordinateur 400, comprenant une mémoire 405 pour stocker des instructions permettant la mise en œuvre du procédé, les données de mesures reçues, et des données temporaires pour réaliser les différentes étapes du procédé tel que décrit précédemment.

L'ordinateur comporte en outre un circuit 404. Ce circuit peut être, par exemple :

- un processeur apte à interpréter des instructions sous la forme de programme informatique, ou
- une carte électronique dont les étapes du procédé de l'invention sont décrites dans le silicium, ou encore
- une puce électronique programmable comme une puce FPGA (pour « Field-Programmable Gate Array » en anglais).

Cet ordinateur comporte une interface d'entrée 403 pour la réception de données 401 relatives à une estimation de l'état de canal, et une interface de sortie 406 pour la fourniture de matrices de transmission à un dispositif émetteur 402. Ce dispositif émetteur peut être par exemple une station de base. Dans un mode de réalisation de l'invention, l'ordinateur 400 est inclus dans le dispositif émetteur 402. Alternativement, l'ordinateur 400 est externe au dispositif émetteur 402.

Par ailleurs, le schéma fonctionnel présenté sur la figure 2 est un exemple typique d'un programme dont certaines instructions peuvent être réalisées auprès du dispositif décrit. A ce titre, la figure 2 peut correspondre à l'organigramme de l'algorithme général d'un programme informatique au sens de l'invention.

La figure 1 illustre un système de télécommunications dans lequel peut être utilisée l'invention, selon un mode de réalisation.

Le système IBC représenté à la figure 1 comporte plusieurs cellules 101, 10C, chaque cellule étant composée d'une station de base 11, 1C et d'un ensemble d'équipements d'utilisateurs 111, $11N_1$, $11N_C$, 11K, tels que des terminaux. Par la suite, on peut aussi désigner ces équipements d'utilisateurs par « terminaux utilisateurs » ou « utilisateurs ».

Une station de base d'une cellule peut envoyer des signaux aux utilisateurs de la même cellule. Pendant qu'elle envoie ces signaux, il peut y avoir des « fuites », appelées interférences inter-cellules, vers les utilisateurs des autres cellules. Par exemple, en référence à la figure 1, la station de base 11 de la cellule 101 peut envoyer un signal aux utilisateurs 111, $11N_1$ appartenant à la cellule 101 (flèches en traits pleins partant de 11), et les interférences inter-cellules avec les utilisateurs $11N_C$, 11K d'une autre cellule 10C sont représentées par les flèches en traits discontinus partant de 1C.

On suppose que le système comporte C stations de base, servant un nombre total d'utilisateurs égal à K. On note b_k la station de base servant un utilisateur donné k, où $k \in \{1, \dots, K\}$.

Le signal, vecteur de dimension $d_k \times 1$ reçu par l'utilisateur k de la cellule b_k s'écrit :

$$\mathbf{y}_k = \mathbf{H}_{k,b_k}\mathbf{G}_k\mathbf{x}_k + \sum_{i \neq k,\, b_i = b_k} \mathbf{H}_{k,b_k}\mathbf{G}_i\mathbf{x}_i + \sum_{j \neq b_k} \sum_{i:b_i = j} \mathbf{H}_{k,j}\mathbf{G}_i\mathbf{x}_i + \mathbf{v}_k \qquad (1)$$

où, pour tout $i \in \{1, \dots, K\}$ et pour tout $j \in \{1, \dots, K\}$:

$\mathbf{x}_i$ représente le signal de dimensions d_i x 1 transmis pour l'utilisateur i, supposé être un signal blanc, de variance égale à l'unité ;

d_i est le nombre de flux ;

$\mathbf{H}_{i,j}$, matrice de dimensions $N_i \times M_j$ (où M_j est le nombre d'antennes de la station de base j), représente le canal de communication de la station de base j à l'utilisateur i ;

$\mathbf{G}_i$ est une matrice de dimension $M_{b_i} \times d_i$ représentant le filtre spatial de précodage (appelée aussi « matrice de précodage » ou « précodeur »).

Enfin, $\mathbf{v}_k$ est un bruit de signal, supposé suivre une loi normale complexe centrée et de variance σ^2 : $\mathbf{v}_k \sim \mathcal{CN}(0, \sigma^2 \mathbf{I}_{N_k})$.

Dans l'équation (1), le terme $\mathbf{H}_{k b_k} \mathbf{G}_k \mathbf{x}_k$ représente la composante du signal reçu émis par la base b_k correspondant à la cellule à laquelle appartient l'utilisateur k. Le terme $\sum_{i \neq k,\, b_i = b_k} \mathbf{H}_{k,b_k} \mathbf{G}_i \mathbf{x}_i$ représente les interférences intra-cellules, et $\sum_{j \neq b_k} \sum_{i : b_i = j} \mathbf{H}_{k,j} \mathbf{G}_i \mathbf{x}_i$ représente les interférences inter-cellules.

Le but de l'invention est de construire des précodeurs qui maximisent la somme pondérée des débits, ou WSR pour « weighted sum rate » en anglais. La WSR s'écrit :

$$\mathrm{WSR} = \mathrm{WSR}(\mathbf{Q}) = \sum_{k=1}^{K} u_k \ln \det\left(\mathbf{I}_{N_k} + \mathbf{R}_k^{-1} \mathbf{H}_{k,b_k} \mathbf{Q}_k \mathbf{H}_{k,b_k}^{H}\right) \qquad (2)$$

où :

pour $i \in \{1, \ldots, K\}$, $\mathbf{Q}_i$ est la matrice de covariance de transmission associée à l'utilisateur i, reliée au précodeur $\mathbf{G}_i$ par l'équation $\mathbf{Q}_i = \mathbf{G}_i \mathbf{G}_i^{H}$;

$\mathbf{Q} = \{\mathbf{Q_1}, \ldots, \mathbf{Q_K}\}$ représente l'ensemble des matrices de covariances de transmissions $\mathbf{Q}_i$, pour $i \in \{1, \ldots, K\}$;

les u_k sont les poids des débits ;

et $\mathbf{R_k}$, $\mathbf{R_{\bar{k}}}$ sont respectivement la matrice de covariance totale et la matrice de covariance d'interférence-plus-bruit côté récepteur, définies par

$$\mathbf{R}_k = \mathbf{H}_{k,b_k}\mathbf{Q}_k\mathbf{H}_{k,b_k}^H + \mathbf{R}_{\bar{k}} \quad \text{et} \quad \mathbf{R}_{\bar{k}} = \sum_{i\neq k}\mathbf{H}_{k,b_i}\mathbf{Q}_i\mathbf{H}_{k,b_i}^H + \sigma^2\mathbf{I}_{N_k}$$

où $\mathbf{M}^{\mathbf{H}}$ représente la matrice adjointe (ou matrice transconjuguée) d'une matrice $\mathbf{M}$.

La fonction WSR doit être maximisée avec les contraintes de puissance :

$$\sum_{k:b_k=j} \mathrm{tr}\{\mathbf{Q}_k\} \leq P_j^{BS} \qquad (3)$$

où $\mathrm{tr}\{\mathbf{M}\}$ désigne la trace d'une matrice $\mathbf{M}$, et les P_j^{BS} représentent les puissance de transmission maximales des canaux de transmission d'une station de base vers un utilisateur j.

Le problème d'optimisation à résoudre peut donc être formulé :

$$\text{Trouver } \widehat{\mathbf{Q}} = \underset{\mathbf{Q}}{\mathrm{argmax}}\,\mathrm{WSR}(\mathbf{Q}) \text{ tel que, pour tout } j \in \{1,\dots,K\}, \sum_{k:b_k=j}\mathrm{tr}\{\mathbf{Q}_k\} \leq P_j^{BS} .$$

Dans un contexte réel, la connaissance du canal n'est parfaite. En particulier, les matrices $\mathbf{H}_{i,j}$ ne sont pas connues, et seuls des paramètres d'estimation de ces matrices sont disponibles. Ces paramètres sont : l'estimé de canal $\bar{\mathbf{H}}_{i,j}$ et la matrice de covariance de l'erreur d'estimation associée $\mathbf{C}_{p,i,j}$. Les différentes méthodes existantes pour obtenir ces paramètres font partie de l'art antérieur et ne sont pas détaillées ici.

Dans le cadre de la présente invention, on suppose que l'estimé de canal s'écrit sous la forme :

$$\bar{\mathbf{H}}_{i,j} = \mathbf{H}_{\mathbf{i,j}} + \mathbf{C}_{r,i,j}^{1/2}\tilde{\mathbf{H}}_{p,i,j}\mathbf{C}_{p,i,j}^{1/2}$$

où $\tilde{\mathbf{H}}_{p,i,j}$ est une matrice composée d'éléments indépendants et identiquement distribués selon une loi normale complexe centrée réduite, $\mathbf{C}_{\mathbf{r,i,j}}$ est une matrice de covariance du canal côté récepteur, et $\mathbf{M}^{\mathbf{1/2}}$ est la racine carrée d'une matrice $\mathbf{M}$.

Dans un mode de réalisation de l'invention, les matrices $\mathbf{C}_{\mathbf{r,i,j}}$ sont connues. Dans un autre mode de réalisation, seules des estimations de ces matrices sont connues. Alternativement, on suppose que les matrices $\mathbf{C}_{\mathbf{r,i,j}}$ sont des matrices identités.

La figure 2 illustre un ordinogramme d'une réalisation possible dans un mode de réalisation de l'invention.

Dans la présente invention, on cherche à calculer des précodeurs qui maximisent la WSR donnée par l'équation (2) sous la contrainte formulée en (3). Pour cela, les matrices de covariance de transmission $\mathbf{Q_i}$, pour $i \in \{1, \ldots, K\}$, sont calculées de manière itérative, à partir des paramètres d'estimation $\bar{\mathbf{H}}_{i,j}$ et $\mathbf{C}_{p,i,j}$, supposés connus pour toutes les stations de base $j \in \{1, \ldots, C\}$ et pour tous les utilisateurs $i \in \{1, \ldots, K\}$.

Les différentes étapes du calcul itératif des matrices de covariance de transmission $\mathbf{Q_i}$ sont présentées à la figure 2 :

A l'étape 201, les matrices $\mathbf{Q_i}$ sont initialisées pour tout $i \in \{1, \ldots, K\}$. Selon un mode de réalisation, l'initialisation est faite avec des matrices générées aléatoirement. Avantageusement, l'initialisation est réalisée avec des matrices obtenues par un algorithme prévu pour le cas où le canal est parfaitement connu, et dans lequel les vraies matrices $\mathbf{H_{i,j}}$ ont été remplacées par les estimés de canal $\bar{\mathbf{H}}_{i,j}$.

Puis, à l'étape 202, un test d'arrêt, basé sur un certain critère, est réalisé. Ce critère d'arrêt peut être, par exemple, un critère de convergence : on peut alors décider que le critère d'arrêt est vérifié si une certaine distance, au sens mathématique du terme, entre les matrices $\mathbf{Q_i}$ calculées à l'issue d'une itération donnée et les matrices $\mathbf{Q_i}$ de l'itération précédente, est inférieure à un seuil fixé. Alternativement, un nombre d'itérations est fixé par avance.

Si le critère d'arrêt est vérifié, l'algorithme itératif s'arrête et l'ensemble courant des matrices $\mathbf{Q_i}$ est délivré en sortie d'algorithme (ensemble de données 205).

Si le critère d'arrêt n'est pas vérifié, les étapes suivantes sont effectuées, pour toutes les stations de base $j \in \{1, \ldots, C\}$:

- étape 203 : pour tous les utilisateurs k appartenant à la cellule j (à laquelle appartient la station de base j), calculer une première matrice $\breve{\mathbf{A}}_k$ à partir des paramètres d'estimation $\bar{\mathbf{H}}_{i,j}$ et $\mathbf{C}_{p,i,j}$ et des matrices de covariance de transmission $\mathbf{Q_k}$ mises à jour lors de l'itération précédente (ou lors de l'initialisation, dans le cas où il s'agit de la première itération de l'algorithme) ;

- étape 204 : mettre à jour les covariances de transmission $\mathbf{Q_k}$ à partir des matrices $\breve{\mathbf{A}}_k$ et des paramètres d'estimation $\bar{\mathbf{H}}_{i,j}$ et $\mathbf{C}_{p,i,j}$. A l'issue de cette étape, le test d'arrêt 202 est à nouveau réalisé.

Dans un mode de réalisation particulier, le calcul des matrices (étape 203) se fait selon la formule :

$$\breve{\mathbf{A}}_k = \sum_{i \neq k}^{K} u_i \left[\breve{\mathbf{A}}_{i,k}^{C} \left(\mathbf{I}_{M_{b_k}} + \mathbf{Q}_k \breve{\mathbf{A}}_{i,k}^{C} \right)^{-1} - \breve{\mathbf{A}}_{i,k}^{D} \left(\mathbf{I}_{M_{b_k}} + \mathbf{Q}_k \breve{\mathbf{A}}_{i,k}^{D} \right)^{-1} \right] \quad (4)$$

où :

$$\breve{\mathbf{A}}_{i,k}^{C} = \bar{\mathbf{H}}_{i,b_k}^{H} \breve{\mathbf{R}}_{\bar{i},\bar{k}}^{-1} \bar{\mathbf{H}}_{i,b_k} + \mathrm{tr}\{\breve{\mathbf{R}}_{\bar{i},\bar{k}}^{-1} \mathbf{C}_{r,i}\} \mathbf{C}_{p,i,b_k} \quad (5)$$

$$\breve{\mathbf{A}}_{i,k}^{D} = \bar{\mathbf{H}}_{i,b_k}^{H} \breve{\mathbf{R}}_{i,\bar{k}}^{-1} \bar{\mathbf{H}}_{i,b_k} + \mathrm{tr}\{\breve{\mathbf{R}}_{i,\bar{k}}^{-1} \mathbf{C}_{r,i}\} \mathbf{C}_{p,i,b_k} \quad (6)$$

avec :

$$\breve{\mathbf{R}}_{\bar{i},\bar{k}} = \sum_{j \neq i, j \neq k}^{K} \left[\bar{\mathbf{H}}_{i,b_j} \mathbf{Q}_j \bar{\mathbf{H}}_{i,b_j}^{H} + \mathrm{tr}\left\{ \mathbf{Q}_j \mathbf{C}_{p,i,b_j} \right\} \mathbf{C}_{r,i} \right] + \sigma^2 \mathbf{I}_{N_i} \quad (7)$$

$$\breve{\mathbf{R}}_{i,\bar{k}} = \sum_{j \neq k}^{K} \left[\bar{\mathbf{H}}_{i,b_j} \mathbf{Q}_j \bar{\mathbf{H}}_{i,b_j}^{H} + \mathrm{tr}\left\{ \mathbf{Q}_j \mathbf{C}_{p,i,b_j} \right\} \mathbf{C}_{r,i} \right] + \sigma^2 \mathbf{I}_{N_i} \quad (8)$$

$\mathbf{I}_{N_i}$ représente la matrice identité de taille n_I.

Les u_i sont les poids des débits vers les différents utilisateurs $i \in \{1, \ldots, K\}$. Selon un mode de réalisation, les poids u_i sont tous égaux (ils peuvent par exemple être tous fixés à 1). Dans un mode de réalisation alternatif, les poids u_i sont adaptés aux besoins des différents utilisateurs. Par exemple, un poids plus important peut être attribué à un terminal utilisateur :

- pour lequel il a été détecté que la batterie est quasiment déchargée et que le terminal utilisateur doit recevoir rapidement le signal ;
- ayant un profil particulier, par exemple s'il est associé à un profil « premier » (ou « premium » en anglais), pour lequel l'opérateur s'engage à un débit minimal ;
- etc.

La figure 3 illustre une mise à jour itérative des matrices de covariance de transmission, qui correspond à l'étape 204 de la figure 2, selon un mode de réalisation de l'invention.

A l'étape 301, un deuxième test d'arrêt, basé sur un deuxième critère, est réalisé. Ce deuxième critère peut être, par exemple, un critère de convergence, ou critère sur un nombre fixe d'itérations.

Si le deuxième critère d'arrêt n'est pas vérifié, on réalise l'étape 302, dans laquelle deux variables $\underline{\lambda}$ et $\bar{\lambda}$ sont initialisées : $\underline{\lambda} = 0$ et $\bar{\lambda} = \lambda_{max}$. Selon un mode de réalisation, la valeur λ_{max} est choisie de manière aléatoire.

Puis, à l'étape 303, une matrice $\breve{\mathbf{B}}_k$ est calculée pour chaque utilisateur k appartenant à la cellule « courante » j. Par cellule « courante », on entend la cellule pour laquelle les étapes de calculs sont effectuées, lors de la boucle itérative sur $j \in \{1, \ldots, C\}$ à l'issue du premier critère de test 202 (en

référence à la figure 2).

Selon un mode de réalisation particulier, les matrices $\breve{\mathbf{B}}_k$ sont données par la formule :

$$\breve{\mathbf{B}}_k = \bar{\mathbf{H}}_{k,b_k}^H \breve{\mathbf{R}}_{\bar{k}}^{-1} \bar{\mathbf{H}}_{k,b_k} + \mathrm{tr}\{\mathbf{C}_{r,k} \breve{\mathbf{R}}_{\bar{k}}^{-1}\} \mathbf{C}_{p,k,b_k} \qquad (9)$$

où $\breve{\mathbf{R}}_{\bar{k}}$ est un estimé de la matrice de covariance d'interférence-plus-bruit côté récepteur, calculé selon la formule :

$$\breve{\mathbf{R}}_{\bar{k}} = \sigma^2 \mathbf{I}_{N_k} + \bar{\mathbf{H}}_k \mathbf{Q}_{\bar{k}} \bar{\mathbf{H}}_k^H + \mathrm{tr}\{\mathbf{Q}_{\bar{k}} \mathbf{C}_{p,k}\} \mathbf{C}_{r,k} \qquad (10)$$

avec $\mathbf{C}_{p,k}$ une matrice diagonale par blocs, dont les blocs sont les $\mathbf{C}_{p,k,l}$ avec $l \in \{1, \ldots, C\}$, $\mathbf{Q}_{\bar{k}} = \mathbf{Q} - \mathbf{I}_{b_k} \mathbf{Q}_k \mathbf{I}_{b_k}^H$ et

$$\mathbf{Q} = \begin{bmatrix} \sum_{i:b_i=1} \mathbf{Q}_i & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & \sum_{i:b_i=C} \mathbf{Q}_i \end{bmatrix} = \sum_{j=1}^{C} \sum_{i:b_i=j} \mathbf{I}_j \mathbf{Q}_i \mathbf{I}_j^H$$

A l'étape 303, pour chaque utilisateur k appartenant à la cellule courante j :

- Une matrice de précodage $\mathbf{G_k}$ est calculée à partir des matrices $\breve{\mathbf{A}}_k$ (ensemble 305 de la figure 3, obtenu à l'issue de l'étape 203 de la figure 2) et des matrices $\breve{\mathbf{B}}_k$ calculées à l'étape 303 de la figure 3. La matrice $\mathbf{G_k}$ peut être définie comme étant la matrice de vecteurs propres généralisés des matrices $\breve{\mathbf{B}}_k$ et $\breve{\mathbf{A}}_k + \lambda \mathbf{I}_{M_{b_k}}$, où $\mathbf{I}_{M_{b_k}}$ est une matrice identité et $\lambda = \frac{1}{2}(\underline{\lambda} + \bar{\lambda})$:

$$\mathbf{G_k} = \mathrm{vect_propres}\left(\breve{\mathbf{B}}_k, \breve{\mathbf{A}}_k + \lambda \mathbf{I}_{M_{b_k}}\right)$$

On note $\mathbf{G}'_k$ les matrices obtenues après avoir normalisé les matrices $\mathbf{G_k}$.

Dans le mode de réalisation précédent, la matrice $\mathbf{G_k}$ est construite à partir de tous les vecteurs propres de $\breve{\mathbf{B}}_k$ et $\breve{\mathbf{A}}_k + \lambda \mathbf{I}_{M_{b_k}}$. Alternativement, la matrice $\mathbf{G_k}$ est construite à partir d'un certain nombre de vecteurs propres, par exemple les d_k vecteurs propres associés aux d_k valeurs propres les plus élevées, où d_k est le nombre de flux par utilisateur.

- Puis, les matrices diagonales $\mathbf{\Sigma}_k^{(1)}$ et $\mathbf{\Sigma}_k^{(2)}$, qui sont liées aux valeurs propres généralisées de $\breve{\mathbf{B}}_k$ et $\breve{\mathbf{A}}_k + \lambda \mathbf{I}_{M_{b_k}}$, sont calculées comme suit :

$$\mathbf{\Sigma}_k^{(1)} = (\mathbf{G}_k')^H \breve{\mathbf{B}}_k \mathbf{G}_k' \quad \text{et} \quad \mathbf{\Sigma}_k^{(2)} = (\mathbf{G}_k')^H \breve{\mathbf{A}}_k \mathbf{G}_k'$$

A partir de ces quantités, des matrices de puissances $\mathbf{P_k}$ sont définies, comme étant des matrices diagonales positives, dans lesquelles les éléments de la diagonale s'écrivent, pour tout l tel que $\mathbf{\Sigma}_k^{(1)} > 0$:

$$\mathbf{P}_k(l,l) = \left(\frac{1}{\mathbf{\Sigma}_k^{(1)}(l,l)} \left(\frac{u_k \Sigma_k^{(1)}(l,l)}{\mathbf{\Sigma}_k^{(2)}(l,l) + \lambda_{\mathbf{b_k}}} - 1 \right) \right)^+ \qquad (11)$$

où le scalaire z^+ représente le maximum entre un scalaire z et 0.

A l'issue de l'étape 304, on réalise à nouveau le deuxième test d'arrêt. Si le deuxième critère d'arrêt n'est pas vérifié, les étapes 302 à 304 sont réitérées.

Si le deuxième critère d'arrêt est vérifié, les matrices $\mathbf{Q_k}$ sont mises à jour pour tout $k \in \{1, \dots, K\}$ lors d'une étape 306, dans laquelle :

- On calcule $\mathbf{P} = \sum_{k=1}^{K} \mathbf{P_k}$;
- Si $\mathrm{tr}(\mathbf{P}) > P_j^{BS}$, où j est la cellule courante, on pose $\underline{\lambda} = \lambda$; sinon on pose $\bar{\lambda} = \lambda$;
- Enfin, pour chaque utilisateur k appartenant à la cellule courante j, on pose $\mathbf{Q_k} = \mathbf{G_k'} \mathbf{P_k} (\mathbf{G_k'})^{\mathbf{H}}$.

L'algorithme itératif complet de calcul des matrices de covariance de transmission $\mathbf{Q_k}$ selon un mode de réalisation particulier de l'invention est donné ci-dessous :

Pour $k = 1, \dots, K$, initialiser $\mathbf{Q_k}$
Répéter jusqu'à un premier critère d'arrêt :
    Pour $j = 1, \dots, C$
        Poser $\underline{\lambda} = 0$ et $\bar{\lambda} = \lambda_{max}$
        Pour k tel que $b_k = j$
            Calculer $\breve{\mathbf{A}}_k$ selon les équations (4) à (8)
        Incrémenter k
        Répéter jusqu'à un deuxième critère d'arrêt :
            $\lambda = \frac{1}{2}(\underline{\lambda} + \bar{\lambda})$
            Pour k tel que $b_k = j$

Calculer $\breve{\mathbf{B}}_k$ selon les équations (9) et (10)

Calculer $\mathbf{G_k}$ =vecteurs propres$\left(\breve{\mathbf{B}}_k, \breve{\mathbf{A}}_k + \lambda \mathbf{I}_{M_{b_k}}\right)$

Normaliser $\mathbf{G_k}$ pour obtenir $\mathbf{G'_k}$

Calculer $\Sigma_k^{(1)} = (\mathbf{G'_k})^H \breve{\mathbf{B}}_k \mathbf{G'_k}$ et $\Sigma_k^{(2)} = (\mathbf{G'_k})^H \breve{\mathbf{A}}_k \mathbf{G'_k}$

Calculer $\mathbf{P_k}$ selon l'équation (11)

Incrémenter k

Calculer $\mathbf{P} = \sum_{k=1}^{K} \mathbf{P_k}$

Si $\mathrm{tr}(\mathbf{P}) \geq P_j^{BS}$, poser $\underline{\lambda} = \lambda$; sinon poser $\bar{\lambda} = \lambda$

Pour k tel que $b_k = j$, poser $\mathbf{Q_k} = \mathbf{G'_k} \mathbf{P_k} (\mathbf{G'_k})^{\mathbf{H}}$

Incrémenter j

Les figures 5a et 5b illustrent des résultats de simulations, pour différents algorithmes existants et pour la présente invention réalisée selon un mode de réalisation particulier.

Plus précisément, les figures 5a et 5b représentent la somme pondérée des débits obtenue avec trois méthodes de calcul des précodeurs en fonction du rapport signal-sur-bruit, ou SNR pour « signal-to-noise ratio » en anglais, pour un système entrées multiples / sortie unique, ou MISO pour « Multiple-Input Single Output » en anglais, composé de 2 cellules, avec un total de 8 utilisateurs dont chacun dispose d'une seule antenne seulement.

Les matrices de covariance de l'erreur d'estimation $\mathbf{C}_{p,i,b_k}$ (pour tout $i \in \{1, \ldots, K\}$ et $b_k \in \{1, \ldots, C\}$) sont considérées comme des matrices identité pour la figure 5a et comme des matrices à rangs réduits (rang = 2) pour la figure 5b. Dans le cas d'un système MISO, les matrices de covariance côté récepteur disparaissent dans les différentes équations.

Les courbes 501a et 501b correspondent aux résultats de la méthode proposée par un mode de réalisation de l'invention. Les courbes 503a et 503b correspondent aux courbes obtenues à partir d'une méthode conçue pour le cas d'une connaissance parfaite du canal, dans laquelle les matrices $\mathbf{H}_{i,b_k}$ ont été remplacées par les estimés de canal $\bar{\mathbf{H}}_{i,b_k}$. Enfin, les courbes 502a et 502b ont été obtenues à partir de la méthode présentée dans l'article « *Sum Rate Maximization in the Noisy MIMO Interfering Broadcast Channel with Partial CSIT via the Expected Weighted MSE* » de F. Negro et al., publié dans IEEE International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS), Paris, France, Août 2012. Cette méthode maximise le WSR par une minimisation de l'erreur quadratique du signal qui est en générale linéaire en $\mathbf{H}_{i,j}$ et dont

l'espérance converge ainsi vers une quantité linéaire en $\overline{\mathbf{H}}_{i,j}$, et prend pas suffisamment en compte les matrices $\mathbf{C}_{p,i,b_k}$.

Comme le montrent les courbes des figures 5a et 5b, la présente méthode fournit de meilleurs résultats que les deux autres algorithmes, notamment dans le cas où les matrices de covariance sont de rangs réduits. Cela est en partie dû à une meilleure exploitation des informations contenues dans les matrices de covariance de l'erreur d'estimation $\mathbf{C}_{p,i,b_k}$.

Bien entendu, la présente invention ne se limite pas aux formes de réalisation décrites ci-avant à titre d'exemples ; elle s'étend à d'autres variantes.

Par exemple, la présente méthode peut être utilisée dans n'importe quel système multi-cellules ou multi-utilisateurs. Elle pourrait également être mise en place dans un système où une station de base peut servir plusieurs utilisateurs en même temps.

REVENDICATIONS

1. Procédé de traitement de signal pour un système de communication comprenant des stations de base (11, 1C), chaque station de base étant apte à servir un ensemble respectif de terminaux d'utilisateurs (111, $11N_1$, $11N_C$, 11K), le procédé comportant :

- réception d'une pluralité de paramètres (401) relatifs chacun à une estimation d'un canal de transmission d'une station de base (11, 1C) parmi les stations de base vers un terminal (111, $11N_1$, $11N_C$, 11K) parmi les ensembles de terminaux ;

- calcul itératif d'une pluralité de matrices de covariance de transmission (205), chaque matrice de covariance de transmission étant relative à un terminal (111, $11N_1$, $11N_C$, 11K) parmi les ensembles de terminaux,

le calcul comprenant au moins une itération comportant :

pour chaque station de base (11, 1C) parmi les stations de base :

a) pour chaque terminal parmi l'ensemble respectif de terminaux, calcul (203) d'une première matrice en fonction d'au moins un paramètre parmi la pluralité de paramètres (401) et d'au moins une matrice de covariance de transmission parmi la pluralité de matrices de covariance de transmission ;

b) pour chaque terminal parmi l'ensemble respectif de terminaux, mise à jour (204) de la matrice de covariance de transmission associée audit terminal, à partir d'au moins un paramètre parmi la pluralité de paramètres (401), d'au moins une matrice de covariance de transmission parmi la pluralité de matrices de covariance de transmission et de la première matrice calculée pour ledit terminal ;

- prise en compte des matrices de covariance de transmission mises à jour pour émettre des signaux par les stations de base (11, 1C) vers les terminaux (111, $11N_1$, $11N_C$, 11K) ;

caractérisé en ce que la pluralité de paramètres reçus (401) comprend, pour chaque station de base b_j parmi les stations de bases (11, 1C) et pour chaque terminal i parmi les ensembles de terminaux (111, $11N_1$, $11N_C$, 11K) :

- un estimé $\overline{\mathbf{H}}_{\mathbf{i},\mathbf{b_j}}$ du canal de transmission de ladite station de base b_j vers ledit terminal i ; et

- une matrice de covariance $\mathbf{C}_{p,i,b_j}$ d'une erreur d'estimation du canal de transmission de ladite

station de base b_j vers ledit terminal i.

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel :

l'étape a) comprend en outre, pour chaque terminal (111, $11N_1$, $11N_C$, 11K) parmi les ensembles de terminaux, calcul d'au moins une matrice de covariance relative à des interférences entre ledit terminal et des terminaux, tous distincts dudit terminal, parmi les ensembles de terminaux ; et

le calcul (203) de la première matrice pour un terminal parmi l'ensemble respectif de terminaux est en outre fonction d'au moins une matrice de covariance relative à des interférences entre ledit terminal et des terminaux, tous distincts dudit terminal.

3. Procédé selon la revendication 2, dans lequel les au moins une matrice de covariance relative à des interférences entre ledit terminal et une pluralité de terminaux sont des fonctions d'au moins un paramètre parmi la pluralité de paramètres (401) et d'au moins une matrice de covariance de transmission parmi les matrices de covariance de transmission.

4. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel tous les ensembles de terminaux représentent un nombre total de K terminaux, et comprenant en outre, pour chaque terminal k parmi les ensembles de terminaux (111, $11N_1$, $11N_C$, 11K) :

calcul d'une première matrice de covariance $\breve{\mathbf{R}}_{i,\bar{k}}$ relative à des interférences entre ledit terminal k et une pluralité de terminaux et

calcul d'une deuxième matrice de covariance $\breve{\mathbf{R}}_{i,\bar{k}}$ relative à des interférences entre ledit terminal k et une pluralité de terminaux.

5. Procédé selon la revendication 4, dans lequel :

ladite première matrice de covariance $\breve{\mathbf{R}}_{i,\bar{k}}$ relative à des interférences est fonction de

$$\sum_{j\neq i, j\neq k}^{K} \mathrm{tr}\left\{\mathbf{Q}_j \mathbf{C}_{p,i,b_j}\right\}$$

et ladite deuxième matrice de covariance $\breve{\mathbf{R}}_{i,\bar{k}}$ relative à des interférences est fonction de

$$\sum_{j\neq k}^{K} \mathrm{tr}\left\{\mathbf{Q}_j \mathbf{C}_{p,i,b_j}\right\}$$

où $\mathbf{Q}_j$ est la matrice de covariance de transmission associée à un terminal j, et tr{**M**} est une trace d'une matrice **M**.

6. Procédé selon la revendication 5, dans lequel :

ladite première matrice de covariance $\breve{\mathbf{R}}_{i,\bar{k}}$ relative à des interférences est fonction de :

$$\sum_{j\neq i, j\neq k}^{K} \left[\bar{\mathbf{H}}_{i,b_j}\mathbf{Q}_j\bar{\mathbf{H}}_{i,b_j}^{H} + \mathrm{tr}\left\{\mathbf{Q}_j\mathbf{C}_{p,i,b_j}\right\}\mathbf{K_1}\right] \quad ;$$

ladite deuxième matrice de covariance $\breve{\mathbf{R}}_{i,\bar{k}}$ relative à des interférences est fonction de :

$$\sum_{j\neq k}^{K} \left[\bar{\mathbf{H}}_{i,b_j}\mathbf{Q}_j\bar{\mathbf{H}}_{i,b_j}^{H} + \mathrm{tr}\left\{\mathbf{Q}_j\mathbf{C}_{p,i,b_j}\right\}\mathbf{K_3}\right] \quad ;$$

où $\mathbf{Q}_j$ est la matrice de covariance de transmission associée à un terminal j, et

$\mathbf{K_1}$ et $\mathbf{K_3}$ sont des matrices qui ne dépendent pas d'une station de base ou d'un terminal.

7. Procédé selon l'une des revendications 5 et 6, dans lequel, pour une station de base b_k et pour chaque terminal k parmi l'ensemble respectif de terminaux, la première matrice est fonction de $\breve{\mathbf{A}}_{i,k}^{C}$ et $\breve{\mathbf{A}}_{i,k}^{D}$, avec :

$$\breve{\mathbf{A}}_{i,k}^{C} = \bar{\mathbf{H}}_{i,b_k}^{H}\breve{\mathbf{R}}_{i,\bar{k}}^{-1}\bar{\mathbf{H}}_{i,b_k} + \mathrm{tr}\{\breve{\mathbf{R}}_{i,\bar{k}}^{-1}\mathbf{K_2}\}\mathbf{C}_{p,i,b_k} \quad ; \text{ et}$$
$$\breve{\mathbf{A}}_{i,k}^{D} = \bar{\mathbf{H}}_{i,b_k}^{H}\breve{\mathbf{R}}_{i,\bar{k}}^{-1}\bar{\mathbf{H}}_{i,b_k} + \mathrm{tr}\{\breve{\mathbf{R}}_{i,\bar{k}}^{-1}\mathbf{K_4}\}\mathbf{C}_{p,i,b_k} \quad ;$$

où :

$\mathbf{K_2}$ et $\mathbf{K_4}$ sont des matrices qui ne dépendent pas d'une station de base ou d'un terminal ;

$\mathbf{M^H}$ est une matrice adjointe d'une matrice **M,** et $\mathbf{M^{-1}}$ est une matrice inverse d'une matrice **M**.

8. Procédé selon la revendication 7, comprenant en outre :

- réception d'une pluralité de coefficients de pondération, chaque coefficient de pondération u_i étant associé à un terminal i parmi les ensembles de terminaux (111, $11N_1$, $11N_C$, 11K) ;

dans lequel ladite première matrice pour ladite station de base b_k et ledit terminal k est :

$$\breve{\mathbf{A}}_k = \sum_{i\neq k}^{K} u_i\left[\breve{\mathbf{A}}_{i,k}^{C}\left(\mathbf{I}_{M_{b_k}} + \mathbf{Q}_k\breve{\mathbf{A}}_{i,k}^{C}\right)^{-1} - \breve{\mathbf{A}}_{i,k}^{D}\left(\mathbf{I}_{M_{b_k}} + \mathbf{Q}_k\breve{\mathbf{A}}_{i,k}^{D}\right)^{-1}\right]$$

9. Procédé selon la revendication 4, comprenant, pour chaque terminal i parmi les ensembles de terminaux (111, $11N_1$, $11N_C$, 11K), une réception d'une matrice de covariance $\mathbf{C}_{r,i}$ relative à une réception de signal par ledit terminal i, dans lequel :

ladite première matrice de covariance $\breve{\mathbf{R}}_{\bar{i},\bar{k}}$ relative à des interférences est fonction de :

$$\sum_{j\neq i, j\neq k}^{K} \left[\bar{\mathbf{H}}_{i,b_j}\mathbf{Q}_j\bar{\mathbf{H}}_{i,b_j}^{H} + \mathrm{tr}\left\{\mathbf{Q}_j\mathbf{C}_{p,i,b_j}\right\}\mathbf{C}_{r,i}\right] \quad ;$$

ladite deuxième matrice de covariance $\breve{\mathbf{R}}_{i,\bar{k}}$ relative à des interférences est fonction de :

$$\sum_{j\neq k}^{K} \left[\bar{\mathbf{H}}_{i,b_j}\mathbf{Q}_j\bar{\mathbf{H}}_{i,b_j}^{H} + \mathrm{tr}\left\{\mathbf{Q}_j\mathbf{C}_{p,i,b_j}\right\}\mathbf{C}_{r,i}\right]$$

où $\mathrm{tr}\{\mathbf{M}\}$ est une trace d'une matrice $\mathbf{M}$.

10. Procédé selon la revendication 9, comprenant en outre une réception d'une valeur σ^2 relative à une variance associée à un bruit de signal, dans lequel :

ladite première matrice de covariance $\breve{\mathbf{R}}_{\bar{i},\bar{k}}$ relative à des interférences est :

$$\sum_{j\neq i, j\neq k}^{K} \left[\bar{\mathbf{H}}_{i,b_j}\mathbf{Q}_j\bar{\mathbf{H}}_{i,b_j}^{H} + \mathrm{tr}\left\{\mathbf{Q}_j\mathbf{C}_{p,i,b_j}\right\}\mathbf{C}_{r,i}\right] + \sigma^2\mathbf{I} \quad ;$$

ladite deuxième matrice de covariance $\breve{\mathbf{R}}_{i,\bar{k}}$ relative à des interférences est :

$$\sum_{j\neq k}^{K} \left[\bar{\mathbf{H}}_{i,b_j}\mathbf{Q}_j\bar{\mathbf{H}}_{i,b_j}^{H} + \mathrm{tr}\left\{\mathbf{Q}_j\mathbf{C}_{p,i,b_j}\right\}\mathbf{C}_{r,i}\right] + +\sigma^2\mathbf{I}$$

où $\mathbf{I}$ est une matrice identité.

11. Procédé selon l'une des revendications 9 et 10, dans lequel, pour une station de base b_k et pour chaque terminal k parmi l'ensemble respectif de terminaux (111, $11N_1$, $11N_C$, 11K), la première matrice est fonction de $\breve{\mathbf{A}}_{i,k}^{C}$ et $\breve{\mathbf{A}}_{i,k}^{D}$, avec :

$$\breve{\mathbf{A}}_{i,k}^{C} = \bar{\mathbf{H}}_{i,b_k}^{H}\breve{\mathbf{R}}_{\bar{i},\bar{k}}^{-1}\bar{\mathbf{H}}_{i,b_k} + \mathrm{tr}\{\breve{\mathbf{R}}_{\bar{i},\bar{k}}^{-1}\mathbf{C}_{r,i}\}\mathbf{C}_{p,i,b_k} \quad ; \text{ et}$$

$$\breve{\mathbf{A}}_{i,k}^{D} = \bar{\mathbf{H}}_{i,b_k}^{H}\breve{\mathbf{R}}_{i,\bar{k}}^{-1}\bar{\mathbf{H}}_{i,b_k} + \mathrm{tr}\{\breve{\mathbf{R}}_{i,\bar{k}}^{-1}\mathbf{C}_{r,i}\}\mathbf{C}_{p,i,b_k} \quad ;$$

où $\mathbf{M}^{\mathbf{H}}$ est une matrice adjointe d'une matrice $\mathbf{M}$ et $\mathbf{M}^{-1}$ est une matrice inverse d'une matrice $\mathbf{M}$.

12. Procédé selon la revendication 11, comprenant en outre :

- réception d'une pluralité de coefficients de pondération, chaque coefficient de pondération u_i étant associé à un terminal i parmi les ensembles de terminaux (111, $11N_1$, $11N_C$, 11K) ;

dans lequel ladite première matrice pour ladite station de base b_k et ledit terminal k est :

$$\breve{\mathbf{A}}_k = \sum_{i \neq k}^{K} u_i \left[\breve{\mathbf{A}}_{i,k}^{C} \left(\mathbf{I}_{M_{b_k}} + \mathbf{Q}_k \breve{\mathbf{A}}_{i,k}^{C} \right)^{-1} - \breve{\mathbf{A}}_{i,k}^{D} \left(\mathbf{I}_{M_{b_k}} + \mathbf{Q}_k \breve{\mathbf{A}}_{i,k}^{D} \right)^{-1} \right]$$

13. Dispositif de traitement de signal pour un système de communication comprenant des stations de base (11, 1C), chaque station de base étant apte à servir un ensemble respectif de terminaux d'utilisateurs (111, $11N_1$, $11N_C$, 11K),

le dispositif comportant :

- une interface d'entrée (403) pour recevoir une pluralité de paramètres (401) relatifs chacun à une estimation d'un canal de transmission d'une station de base (11, 1C) parmi les stations de base vers un terminal 111, $11N_1$, $11N_C$, 11K) parmi les ensembles de terminaux ;

- un circuit pour un calcul itératif d'une pluralité de matrices de covariance de transmission (205), chaque matrice de covariance de transmission étant relative à un terminal parmi les ensembles de terminaux,

le calcul comprenant au moins une itération comportant :

pour chaque station de base parmi les stations de base :

a) pour chaque terminal parmi l'ensemble respectif de terminaux, calcul (203) d'une première matrice en fonction d'au moins un paramètre parmi la pluralité de paramètres et d'au moins une matrice de covariance de transmission parmi la pluralité de matrices de covariance de transmission ;

b) pour chaque terminal parmi l'ensemble respectif de terminaux, mise à jour (204) de la matrice de covariance de transmission associée audit terminal, à partir d'au moins un paramètre parmi la pluralité de paramètres, d'au moins une matrice de covariance de transmission parmi la pluralité de matrices de covariance de transmission et de la première matrice calculée pour ledit terminal ;

- une interface de sortie (406) pour fourniture des matrices de covariance de transmission mises à jour aux stations de base ;

caractérisé en ce que la pluralité de paramètres reçus (401) comprend, pour chaque station de base b_j parmi les stations de bases (11, 1C) et pour chaque terminal i parmi les ensembles de terminaux (111, $11N_1$, $11N_C$, 11K) :

- un estimé $\bar{\mathbf{H}}_{\mathbf{i},\mathbf{b_j}}$ du canal de transmission de ladite station de base b_j vers ledit terminal i ; et

- une matrice de covariance $\mathbf{C}_{p,i,b_j}$ d'une erreur d'estimation du canal de transmission de ladite station de base b_j vers ledit terminal i.

14. Produit programme informatique comportant des instructions pour la mise en œuvre du procédé selon l'une des revendications 1 à 12, lorsque ce programme est exécuté par un processeur.

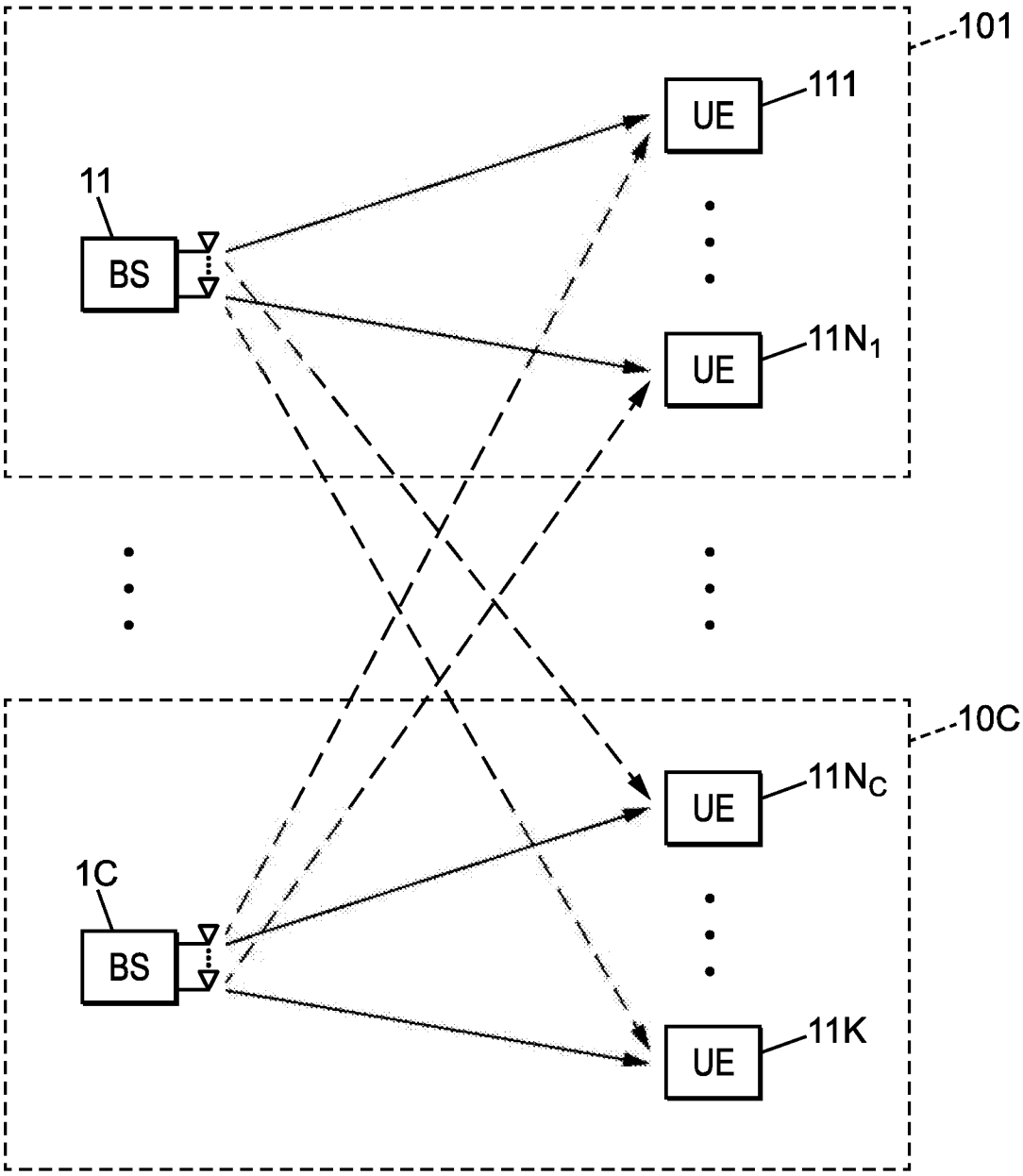


FIG. 1

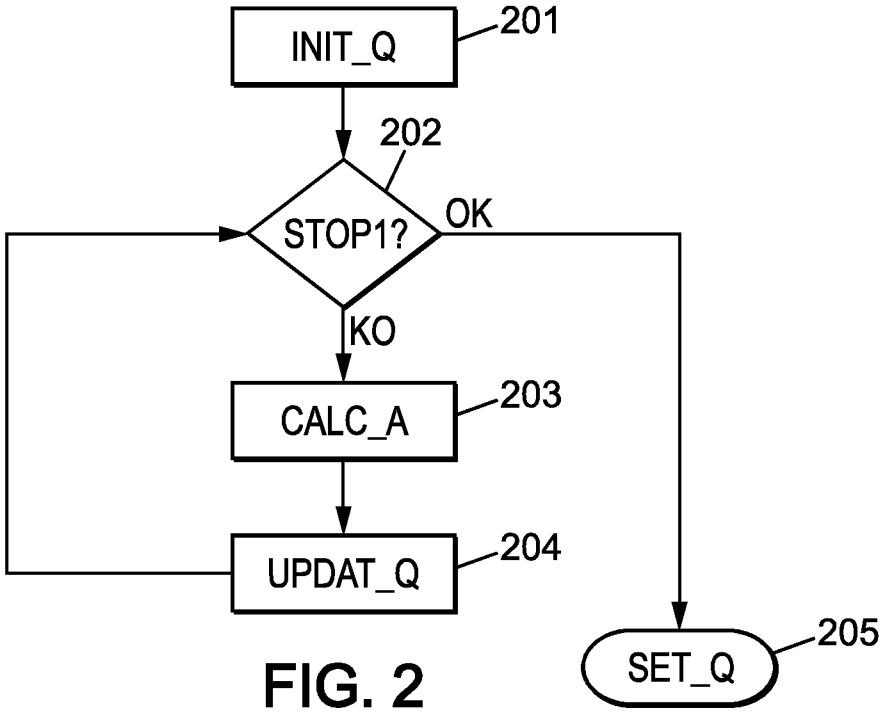

INIT_Q
201
202
STOP1?
OK
KO
CALC_A
203
UPDAT_Q
204
SET_Q
205

FIG. 2

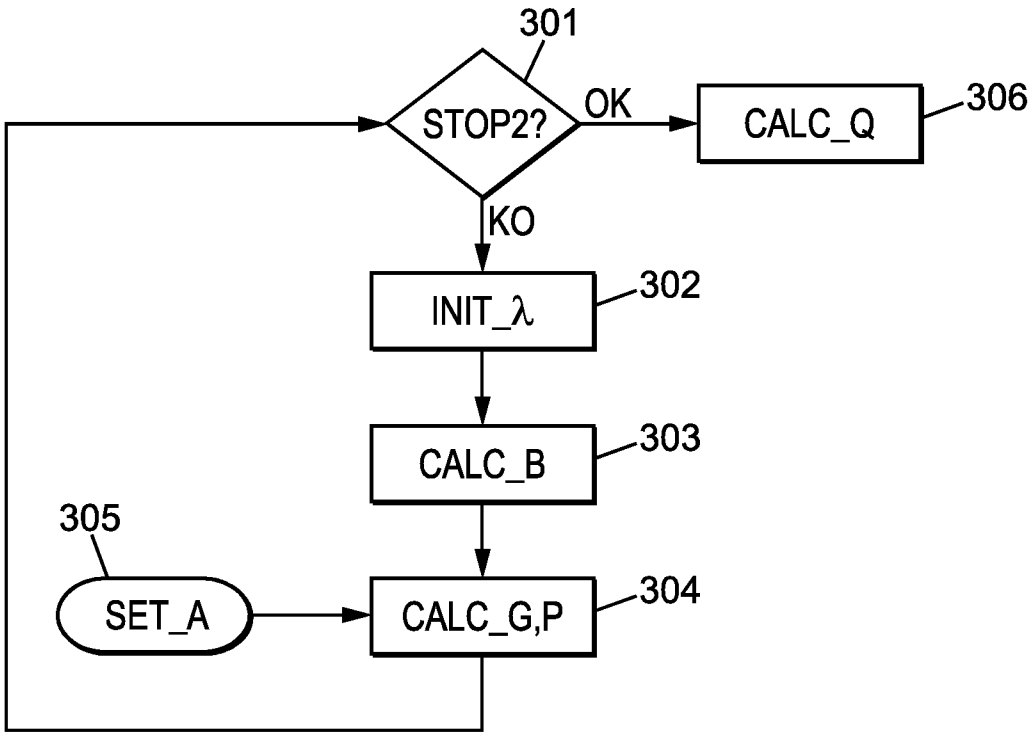

301
STOP2?
OK
CALC_Q
306
KO
INIT_λ
302
CALC_B
303
305
SET_A
CALC_G,P
304

FIG. 3

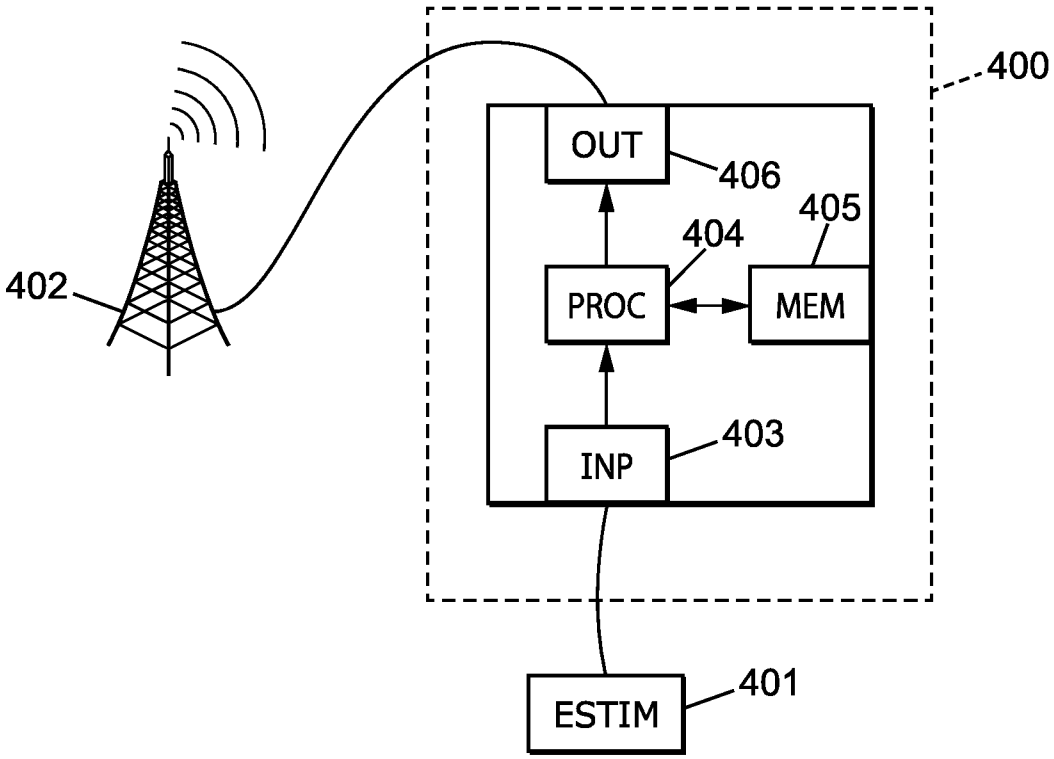


FIG. 4

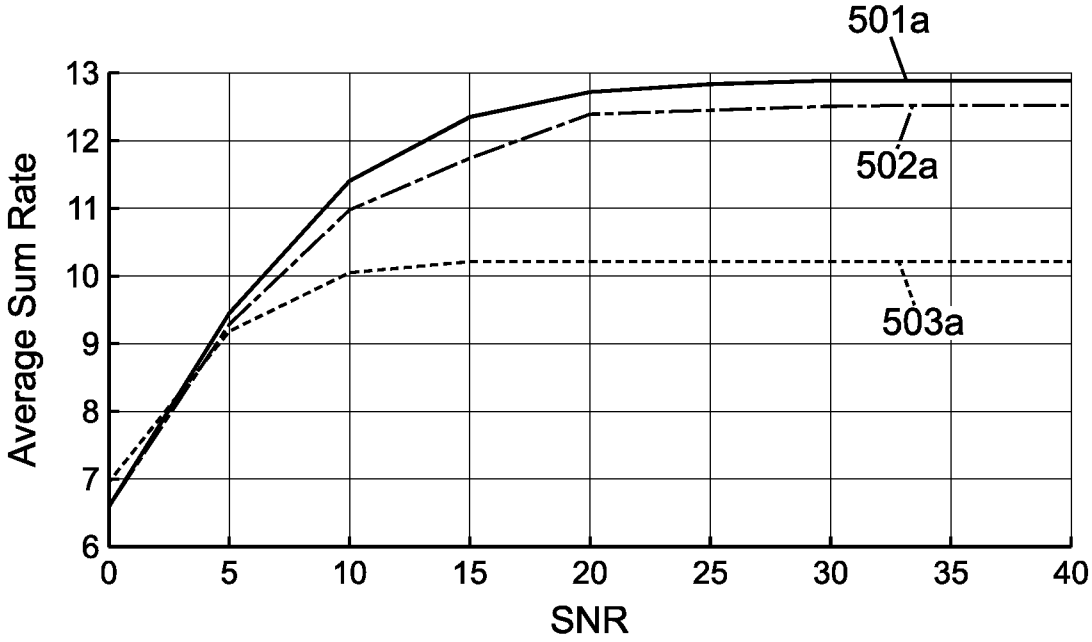

501a
502a
503a
Average Sum Rate
SNR
13
12
11
10
9
8
7
6
0
5
10
15
20
25
30
35
40

FIG. 5a

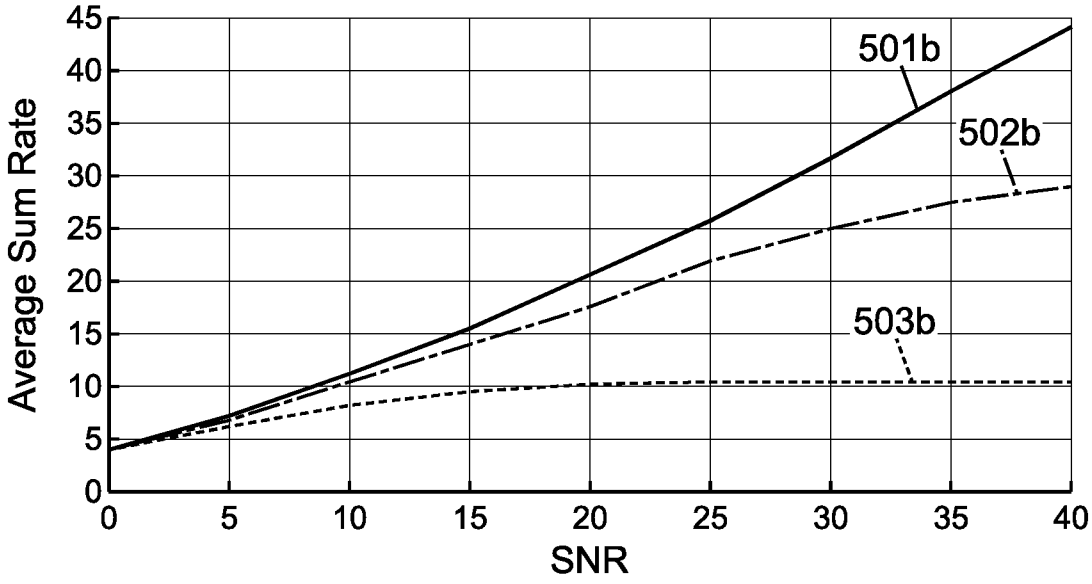

501b
502b
503b
Average Sum Rate
SNR
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
0
5
10
15
20
25
30
35
40

FIG. 5b

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2017/052811

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H04B7/0456
ADD.

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 practicable, 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.
Y	NGUYEN DUY H N ET AL: "Sum-Rate Maximization in the Multicell MIMO Broadcast Channel With Interference Coordination", IEEE TRANSACTIONS ON SIGNAL PROCESSING, IEEE SERVICE CENTER, NEW YORK, NY, US, vol. 62, no. 6, 1 March 2014 (2014-03-01), pages 1501-1513, XP011541229, ISSN: 1053-587X, DOI: 10.1109/TSP.2014.2299512 [retrieved on 2014-02-26]	1-5,13, 14
A	abstract; figure 1 chapitre II, équation 1; page 1502 équations 3,7; page 1503 algorithme 1; page 1506 algorithme 2;	6-12

-/--

[X] 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 application or patent 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	Date of mailing of the international search report
20 December 2017	05/01/2018

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Sälzer, Thomas

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
	page 1507	
Y	TABIKH WASSIM ET AL: "Optimal beamforming with combined channel and path CSIT for multi-cell multi-user MIMO", 2016 INFORMATION THEORY AND APPLICATIONS WORKSHOP (ITA), IEEE, 31 January 2016 (2016-01-31), pages 1-6, XP033082390, DOI: 10.1109/ITA.2016.7888143	1-5,13, 14
A	abstract chapitre II.C, équations 5 et 36	6-12
A	FRANCESCO NEGRO ET AL: "Sum Rate maximization in the noisy MIMO interfering broadcast channel with partial CSIT via the expected weighted MSE", WIRELESS COMMUNICATION SYSTEMS (ISWCS), 2012 INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON, IEEE, 28 August 2012 (2012-08-28), pages 576-580, XP032263825, DOI: 10.1109/ISWCS.2012.6328433 ISBN: 978-1-4673-0761-1 cited in the application the whole document	1-14

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°
PCT/FR2017/052811

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
INV. H04B7/0456
ADD.

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
Y	NGUYEN DUY H N ET AL: "Sum-Rate Maximization in the Multicell MIMO Broadcast Channel With Interference Coordination", IEEE TRANSACTIONS ON SIGNAL PROCESSING, IEEE SERVICE CENTER, NEW YORK, NY, US, vol. 62, no. 6, 1 mars 2014 (2014-03-01), pages 1501-1513, XP011541229, ISSN: 1053-587X, DOI: 10.1109/TSP.2014.2299512 [extrait le 2014-02-26]	1-5,13, 14
A	abrégé; figure 1 chapitre II, équation 1; page 1502 équations 3,7; page 1503 algorithme 1; page 1506 algorithme 2;	6-12

-/--

[X] 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	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale
20 décembre 2017	05/01/2018

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale	Fonctionnaire autorisé
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Sälzer, Thomas

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
	page 1507 -----	
Y	TABIKH WASSIM ET AL: "Optimal beamforming with combined channel and path CSIT for multi-cell multi-user MIMO", 2016 INFORMATION THEORY AND APPLICATIONS WORKSHOP (ITA), IEEE, 31 janvier 2016 (2016-01-31), pages 1-6, XP033082390, DOI: 10.1109/ITA.2016.7888143	1-5,13, 14
A	abrégé chapitre II.C, équations 5 et 36 -----	6-12
A	FRANCESCO NEGRO ET AL: "Sum Rate maximization in the noisy MIMO interfering broadcast channel with partial CSIT via the expected weighted MSE", WIRELESS COMMUNICATION SYSTEMS (ISWCS), 2012 INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON, IEEE, 28 août 2012 (2012-08-28), pages 576-580, XP032263825, DOI: 10.1109/ISWCS.2012.6328433 ISBN: 978-1-4673-0761-1 cité dans la demande le document en entier -----	1-14