

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLÉE 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
6 octobre 2011 (06.10.2011)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2011/121246 A2

(51) Classification internationale des brevets :
H04L 1/06 (2006.01) **H04L 12/28** (2006.01)
H04L 1/00 (2006.01) **H04L 12/56** (2006.01)

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

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2011/050727

(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.

(22) Date de dépôt international :
31 mars 2011 (31.03.2011)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1052426 31 mars 2010 (31.03.2010) FR

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

(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).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : **NAHAS, Michel** [LB/FR]; 6 place Felix Eboué, F-75012 Paris (FR). **SAADANI, Ahmed** [TN/FR]; 12 rue Ernest Renan, F-92130 Issy Les Moulineaux (FR). **REKAYA, Ghaya** [FR/FR]; 2 allée de l'Ile Verte, F-92160 Antony (FR).

Déclarations en vertu de la règle 4.17 :

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

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : TRANSMISSION METHOD IMPLEMENTED BY A NODE OF A COOPERATIVE COMMUNICATIONS SYSTEM CONSISTING OF A PLURALITY OF NODES

(54) Titre : PROCEDE DE TRANSMISSION MIS EN ŒUVRE PAR UN NŒUD D'UN SYSTEME DE COMMUNICATIONS COOPERATIF COMPOSE D'UNE PLURALITE DE NŒUDS

$$\sum_{p=1}^L T_p = T \quad (I)$$

(57) Abstract : According to the invention, the method includes a step whereby at least one frame of T symbols is emitted by a node (A1-AM) of a cooperative communications system made up of a plurality of nodes, said frame corresponding to a row of a matrix Y defining a word of a space-time code, the matrix Y having dimensions MxT where M is greater than 2, and resulting from the application of a permutation σ to the columns of an initial matrix X formed by the concatenation of L sub-matrices X_p having dimensions MxT_p, p=1,...,L, and formula (I), each sub-matrix X_p defining a layered algebraic space-time code.

(57) Abrégé : Conformément à l'invention, le procédé comprend une étape d'émission d'au moins une trame de T symboles par un nœud (A1-AM) d'un système de communications coopératif composé d'une pluralité de nœuds, cette trame correspondant à une ligne d'une matrice Y définissant un mot d'un code spatio-temporel, La matrice Y est de dimensions MxT, M étant supérieur à 2, et résulte de l'application d'une permutation

[Suite sur la page suivante]



WO 2011/121246 A2



Publiée :

- *sans rapport de recherche internationale, sera republiée
dès réception de ce rapport (règle 48.2.g)*

Procédé de transmission mis en oeuvre par un noeud d'un système de communications coopératif composé d'une pluralité de noeuds

Arrière-plan de l'invention

5 L'invention se rapporte au domaine général des télécommunications.

Elle concerne plus particulièrement l'utilisation de codes spatio-temporels dans le cadre de communications coopératives asynchrones mises en oeuvre par une pluralité de noeuds d'un réseau de télécommunications sans fil, tel qu'un réseau mobile ou un réseau de capteurs. Ces noeuds sont par exemple des relais d'un réseau cellulaire ou d'un réseau adhoc, des capteurs d'un
10 réseau de capteurs, etc.

L'invention s'applique ainsi de façon privilégiée dans le cadre d'une transmission de données distribuée sur plusieurs antennes de noeuds d'un réseau, chaque noeud du réseau disposant d'au moins une antenne d'émission.

On entend ici par communications asynchrones des échanges de données entre une
15 pluralité de noeuds émetteurs et au moins un noeud récepteur présentant des décalages temporels les uns par rapport aux autres, ces décalages pouvant résulter d'un retard à l'émission et/ou à la réception des données, et/ou être introduits par le canal de propagation qu'empruntent les données entre les noeuds émetteurs et le(s) noeud(s) récepteur(s).

De façon connue, les communications au sein d'un réseau sans fil souffrent, du fait de
20 la nature même du canal de propagation par lequel transitent les données échangées pendant ces communications, du phénomène d'évanouissement ou « fading » en anglais. Ce phénomène peut se traduire par une atténuation importante du signal au cours de sa transmission jusqu'à sa destination.

Une technique efficace pour compenser ce phénomène est l'introduction de diversité
25 dans le système de communications. Il s'agit par ce biais de disposer de plusieurs répliques du signal subissant des évanouissements indépendants du canal de propagation : une combinaison appropriée de ces répliques permet alors de réduire les effets néfastes du canal de propagation. Cette diversité peut être introduite à différents niveaux, comme par exemple au niveau spatial, temporel et/ou fréquentiel.

30 La diversité spatiale peut être créée en transmettant des signaux depuis différentes antennes d'émission, permettant ainsi au récepteur de recevoir des signaux ayant subi des évanouissements indépendants depuis ces antennes d'émission. Les systèmes multi-antennes ou MIMO (Multiple Input Multiple Output), basés par exemple sur des codes spatio-temporels (ou codes espace-temps) exploitent la diversité spatiale, mais supposent que les antennes multiples
35 soient colocalisées sur un même noeud en émission et/ou en réception.

Or, dans le contexte d'un réseau cellulaire par exemple, s'il est possible d'envisager plusieurs antennes sur une même station de base, ceci semble plus difficile au niveau des terminaux, pour des raisons notamment d'encombrement, de coût et d'implémentation matérielle.

La mise en œuvre de communications dites coopératives permet à des terminaux ne disposant que d'une seule antenne de bénéficier de diversité spatiale : on parle alors de diversité de coopération. Plus précisément, dans un système coopératif constitué de plusieurs nœuds mono-antennes, les nœuds partagent leurs antennes respectives de façon à créer un système MIMO virtuel. Le système MIMO virtuel ainsi obtenu peut alors exploiter, de façon distribuée sur les nœuds, les techniques classiquement utilisées pour améliorer la qualité des transmissions telles que notamment le codage spatio-temporel.

Le codage spatio-temporel s'appuie sur un multiplexage en temps (i.e. sur plusieurs symboles) et en espace (i.e. sur plusieurs antennes) des données à transmettre. Ces codes permettent d'exploiter les gains de multiplexage (augmentation du débit d'information et donc du rendement du système) et de diversité des systèmes MIMO. Des exemples de tels codes sont décrits notamment dans le document de V. Tarokh et al., intitulé « Space-Time Codes for High Data Rate Wireless Communication: Performance Criterion and Code Construction », IEEE Transactions on Information Theory, vol. 44, Mars 1998.

De façon connue, un code spatio-temporel est défini par une matrice $\mathbf{B}$ de dimensions $M \times T$, M désignant le nombre d'antennes en émission. Chaque ligne $\mathbf{b}_i$, $i=1, \dots, M$, de la matrice $\mathbf{B}$ est constituée de T symboles b_{ij} et transmise sur l'antenne d'émission i , le symbole b_{ij} étant émis à l'instant jT_s (T_s désignant un temps symbole). Ainsi, chaque mot de code du code spatio-temporel est défini par la matrice $\mathbf{B}$.

Le rendement d'un code est égal au nombre de symboles distincts qu'on peut transmettre par utilisation de canal. Le rendement maximal du code est égal au minimum entre le nombre d'antennes d'émission M et le nombre d'antennes de réception N du système MIMO.

L'étude des performances théoriques des codes spatio-temporels permet de déduire deux critères de construction associés à la matrice $\mathbf{B}$:

- le critère du rang du code, qui permet d'atteindre une diversité maximale, celle-ci étant égale au produit du nombre d'antennes d'émission M par le nombre d'antennes de réception N du système MIMO ; et
- le critère du déterminant du code, qui permet d'atteindre un gain de codage maximal.

Le document de El Gamal et al., intitulé « Universal Space-Time Coding », IEEE Transactions on Information Theory, vol. 49, Mai 2003 (référéncé ci-après par TAST2003), propose un code spatio-temporel algébrique à couches, permettant d'atteindre une diversité maximale et un rendement maximal lorsque les antennes d'émission émettent de façon synchrone les mots de code. Ce code optimal est également connu sous le nom de code TAST (« Threaded Algebraic Space-Time »). Un exemple de code TAST optimal pour $M=4$ antennes d'émission est illustré sur la figure 1 : ce code est construit à partir de $W=4$ couches, chaque couche pouvant être constituée d'un ou de plusieurs symboles.

Plus précisément, le codage TAST propose d'associer un sous-espace algébrique distinct à chaque couche du code (désignée respectivement par 1, 2, 3 et 4 sur la figure 1), de

façon à rendre « transparentes » les couches les unes par rapport aux autres. Chaque couche est construite de façon à exploiter toute la diversité spatio-temporelle du système. Ainsi, pendant chaque temps symbole T_s , chaque couche émet un symbole en utilisant une antenne différente : toutes les couches sont donc équivalentes en terme d'utilisation du canal et l'interférence spatiale observée par une couche ne provient que des autres couches. Des exemples de sous-espaces algébriques permettant de garantir une diversité maximale et un rendement maximal du code TAST lorsque les antennes d'émission transmettent de façon synchrone, est décrit plus en détails dans le document TAST2003.

Toutefois, ces propriétés en termes de diversité maximale et de rendement maximal des codes TAST sont perdues en présence d'un décalage temporel entre les antennes d'émission. Or, dans les systèmes coopératifs, lorsque les antennes d'émission sont distribuées sur plusieurs nœuds, il n'est pas toujours possible de garantir qu'elles transmettent de façon synchronisée, du fait notamment d'imperfections liées aux méthodes de synchronisation utilisées, du coût ou de la complexité de ces méthodes, ou encore de retards dus à la nature des nœuds. Ce manque de synchronisation entre les antennes détruit la structure des codes spatio-temporels distribués et entraîne la perte de leurs propriétés optimales (notamment en termes de rang et de déterminant).

Des codes spatio-temporels asynchrones, robustes à la perte de synchronisation entre les antennes d'un système coopératif, ont été proposés par Damen et al. dans le document intitulé « Delay-Tolerant Distributed TAST Codes for Cooperative Diversity », IEEE Transactions on Information Theory, vol. 53, Octobre 2007 (ci-après référencé par Damen2007). Ces codes sont basés sur les codes TAST précédemment décrits dans lesquels certains symboles sont répétés, le but étant de protéger les différentes versions du même symbole lorsque des délais existent entre les antennes. De cette sorte, on s'assure que la diversité maximale du code TAST est conservée en présence de certains délais entre les antennes.

Toutefois, si la diversité maximale est garantie, la répétition des symboles augmente la taille du code, et de ce fait entraîne une diminution du rendement du code. Les codes proposés par Damen et al. ne garantissent donc pas un rendement maximal.

Le document « Asynchronous Cooperative MIMA Systems using a linear dispersion structure », IEEE Trans. On Vehicular Technology, vol. 59 n°2, 1er février 2010) de Nan Wu et al., est relatif à un système de communications coopératif asynchrone utilisant des codes spatio-temporels basés sur une structure à dispersion linéaire. Il décrit un procédé de transmission mis en oeuvre par un nœud d'un système de communications coopératif composé d'une pluralité de nœuds comprenant une étape d'émission d'au moins une trame de $T(B+D)$ symboles par ce nœud. Cette trame correspond à une ligne d'une matrice F de dimensions $M \times [T(B+D)]$, $M > 2$, définissant un mot d'un code spatio-temporel ($F = [F_1, F_2, \dots, F_T]$). La matrice F est obtenue en réorganisant les colonnes d'une matrice initiale formée par la concaténation de B sous-matrices (matrices $C_1, C_2, \dots, C_B$) de dimensions $M \times T$. Chaque sous-matrice définit un code à dispersion linéaire. La réorganisation appliquée réunit les B colonnes d'indice identique des B sous-matrices

concaténées. Un intervalle de garde de taille D est en outre inséré entre chaque bloc de B colonnes ainsi réunies d'où les dimensions $M \times [T(B+D)]$ de la matrice résultante. Ce procédé fonctionne avec un délai relatif de propagation arbitraire tout en maintenant une diversité spatiale maximale sous condition d'insérer un intervalle de garde suffisant pour supprimer l'interférence entre blocs F_i ce qui est au détriment du débit.

Objet et résumé de l'invention

L'invention propose une nouvelle construction de codes spatio-temporels particulièrement bien adaptés aux communications coopératives asynchrones mises en œuvre dans un réseau de communications distribué. Cette nouvelle construction s'appuie sur la concaténation et la permutation des colonnes des matrices d'une pluralité de codes spatio-temporels algébriques à couches, de sorte à atteindre, y compris dans un contexte asynchrone, une diversité maximale et un rendement maximal.

Ainsi, selon un premier aspect, l'invention vise un procédé de transmission mis en œuvre par un nœud d'un système de communications coopératif composé d'une pluralité de nœuds, ce procédé comprenant une étape d'émission d'au moins une trame de T symboles par ledit nœud, cette trame correspondant à une ligne d'une matrice Y définissant un mot d'un code spatio-temporel. Le procédé de transmission selon l'invention est remarquable en ce que la matrice Y est de dimensions $M \times T$, M étant supérieur à 2, et résulte de l'application d'une permutation σ sur les colonnes d'une matrice initiale X formée par concaténation de L ($L > 1$) sous-matrices X_p de dimensions $M \times T_p$, $p=1, \dots, L$, et $\sum_{p=1}^L T_p = T$, chaque sous-matrice X_p définissant un code spatio-temporel algébrique à couches.

Corrélativement, l'invention vise également un nœud d'un système de communications coopératif composé d'une pluralité de nœuds, ce nœud comprenant des moyens pour émettre au moins une trame de T symboles correspondant à une ligne d'une matrice Y définissant un mot d'un code spatio-temporel. Conformément à l'invention, ce nœud est remarquable en ce que la matrice Y est de dimensions $M \times T$, M étant supérieur à 2, et résulte de l'application d'une permutation σ sur les colonnes d'une matrice initiale X formée par concaténation de L sous-matrices X_p de dimensions $M \times T_p$, $p=1, \dots, L$, et $\sum_{p=1}^L T_p = T$, chaque sous-matrice X_p définissant un code spatio-temporel algébrique à couches.

Les dimensions M et T du code spatio-temporel seront bien entendu choisies en fonction des contraintes du système de communications, et notamment de la taille des trames souhaitée, du nombre de nœuds du système coopératif, du nombre d'antennes par nœud, etc.

La concaténation de codes TAST optimaux en termes de rendement et de diversité, combinée à l'application d'une permutation sur les colonnes de la matrice résultant de cette concaténation, permet de garantir qu'une diversité maximale est conservée pour certains profils de

délais entre les antennes des nœuds du système coopératif, et ce non seulement lors d'une transmission synchrone des mots du code spatio-temporel construit selon l'invention, mais également lors d'une transmission asynchrone. Par profil de délais, on entend ici les retards relatifs entre les symboles transmis par les M antennes du système de communications coopératif.

5 En effet, la permutation appliquée sur les colonnes de la matrice X permet avantageusement d'espacer les symboles appartenant à une même couche d'un code algébrique et transmis par des nœuds distincts du système coopératif. De cette sorte, le code est plus robuste en cas de retard d'une antenne d'un nœud par rapport à une antenne d'un autre nœud puisqu'on limite l'interférence entre les symboles d'une même couche résultant de ce retard.

10 En outre, l'invention ne nécessite pas d'ajout ni de répétition de symboles : elle permet de ce fait de conserver le rendement maximal assuré par la concaténation des codes TAST.

On notera que les délais ainsi que le nombre de profils de délais tolérés par l'invention sans perte de diversité dépendent du nombre L de codes algébriques concaténés ainsi que du choix de la permutation.

15 Ainsi préférentiellement, dans la matrice Y, les symboles appartenant à une même couche d'un code spatio-temporel algébrique défini par l'une des sous-matrices X_p et destinés à être transmis par des nœuds distincts du système coopératif (et donc appartenant à des lignes distinctes de la sous-matrice X_p) seront espacés d'un nombre de symboles déterminé supérieur à 1. Autrement dit, des symboles appartenant à une même couche et transmis par des nœuds
20 distincts du système coopératif seront transmis à des instants espacés d'au moins deux temps symbole (par exemple à T_0 et $T_0 + 2 \times T_s$).

De ce nombre de symboles dépendra avantageusement le délai relatif maximal entre les antennes toléré par l'invention, c'est-à-dire, garantissant une diversité maximale du code spatio-temporel. Ce délai relatif maximal sera au moins égal au nombre de symboles séparant les
25 symboles d'une même couche moins un.

Dans un mode de réalisation particulièrement avantageux dans lequel $T_p = T/L$, $p=1, \dots, L$, ce nombre de symboles sera choisi égal à L.

De cette sorte, pour des codes algébriques en couches ayant une structure similaire au code représenté sur la figure 1 (i.e., chaque couche est espacée d'un symbole entre deux antennes
30 successives, quel que soit le nombre de couches et d'antennes), on s'assurera un espacement maximal entre les symboles d'une même couche pour l'ensemble des codes algébriques constituant la matrice X, et donc un délai maximal toléré par le système coopératif sans perte de diversité. Ce délai relatif maximal est alors, dans ce cas particulier, égal à L-1 entre deux antennes successives. Lorsque le délai relatif maximal est connu, le nombre L peut être choisi supérieur à ce délai, ce qui
35 garantit une diversité maximale.

Dans ce mode de réalisation, la matrice Y résultera par exemple de l'application sur la matrice X de la permutation σ définie par :

$$\sigma \left(x_{i,j+(p-1)L} \right) = y_{i,(j-1)L+p}, \quad i=1,\dots,M, \quad j=1,\dots,T/L, \quad p=1,\dots,L$$

$x_{m,n}$ et $y_{m,n}$ désignant respectivement les composantes situées à la m-ième ligne et à la n-ième colonne des matrices X et Y.

On notera par ailleurs que l'augmentation du nombre L de codes algébriques concaténés permet également d'augmenter le nombre de profils de délais pour lesquels la diversité reste maximale, ainsi que les délais maximaux tolérés.

Selon un deuxième aspect, l'invention vise un procédé de communication mis en œuvre par un système de communications coopératif composé d'une pluralité de nœuds, ce procédé comprenant la transmission d'au moins une trame de T symboles par chaque nœud du système conformément à un procédé de transmission selon l'invention, chaque nœud transmettant au moins une ligne distincte d'un mot du code spatio-temporel défini par la matrice Y de dimensions $M \times T$, M étant supérieur à 2.

Corrélativement, l'invention vise également un système de communications coopératif comprenant une pluralité de nœuds, chaque nœud du système étant conforme à l'invention et transmettant au moins une ligne distincte d'un mot du code spatio-temporel défini par la matrice Y de dimensions $M \times T$, M étant supérieur à 2.

Ainsi, le code spatio-temporel proposé par l'invention permet de bénéficier d'une diversité de coopération maximale dans des réseaux de télécommunications sans fil distribués, sans réaliser de synchronisation préalable des nœuds du réseau entre eux.

Selon un troisième aspect, l'invention vise un procédé de réception comprenant :

- une étape de réception d'au moins une trame résultant de la transmission de M trames de T symboles par une pluralité de nœuds d'un système de communications coopératif, M étant supérieur à 2 ; et
- une étape de décodage de ladite au moins une trame reçue en utilisant un décodeur apte à décoder un mot d'un code spatio-temporel.

Conformément à l'invention le code spatio-temporel est défini par une matrice Y de dimensions $M \times T$, résultant de l'application d'une permutation σ sur les colonnes d'une matrice initiale X formée par concaténation de L sous-matrices X_p de dimensions $M \times T_p$, $p=1,\dots,L$, et $\sum_{p=1}^L T_p = T$, chaque

sous-matrice X_p définissant un code spatio-temporel algébrique à couches.

Corrélativement, l'invention vise aussi un dispositif de réception comprenant :

- des moyens de réception d'au moins une trame résultant de la transmission de M trames de T symboles par une pluralité de nœuds d'un système de communications coopératif, M étant supérieur à 2 ; et
- des moyens de décodage de ladite au moins une trame reçue en utilisant un décodeur apte à décoder un mot d'un code spatio-temporel.

Conformément à l'invention, le code spatio-temporel est défini par une matrice Y de dimensions $M \times T$ résultant de l'application d'une permutation σ sur les colonnes d'une matrice initiale X formée par concaténation de L sous-matrices X_p de dimensions $M \times T_p$, $p=1, \dots, L$, et $\sum_{p=1}^L T_p = T$, chaque sous-matrice X_p définissant un code spatio-temporel algébrique à couches.

5 Ce procédé et ce dispositif de réception permettent ainsi de décoder les trames émises selon le procédé de transmission et le procédé de communication selon l'invention.

Dans un mode particulier de réalisation, les différentes étapes du procédé de transmission sont déterminées par des instructions de programmes d'ordinateurs.

10 En conséquence, l'invention vise aussi un programme d'ordinateur sur un support d'informations, ce programme étant susceptible d'être mis en œuvre dans un nœud d'un système de communications coopératif ou plus généralement dans un ordinateur, ce programme comportant des instructions adaptées à la mise en œuvre des étapes d'un procédé de transmission tel que décrit ci-dessus.

15 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.

L'invention vise aussi un support d'informations lisible par un ordinateur, et comportant des instructions d'un programme d'ordinateur tel que mentionné ci-dessus.

20 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.

25 D'autre part, le support d'informations peut être un support transmissible tel 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.

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.

30 On peut également envisager, dans d'autres modes de réalisation, que le procédé de transmission, le procédé de communication, le procédé de réception, le nœud, le système coopératif et le dispositif de réception selon l'invention présentent en combinaison tout ou partie des caractéristiques précitées.

Brève description des dessins

D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention ressortiront de la description faite ci-dessous, en référence aux dessins annexés qui en illustrent un exemple de réalisation dépourvu de tout caractère limitatif. Sur les figures :

- 5 - la figure 1, déjà décrite, représente de façon schématique un code TAST optimal pour $M=4$ antennes constitué de $P=4$ couches ;
- les figures 2A-2B et 3A-3B représentent des exemples de codes spatio-temporels construits conformément à l'invention et utilisés dans les procédés de transmission et de communication selon l'invention ;
- 10 - la figure 4 représente, de façon schématique, un premier exemple de système coopératif conforme à l'invention ;
- la figure 5 représente un exemple d'architecture matérielle d'un nœud conforme à l'invention, dans un mode particulier de réalisation ;
- la figure 6 représente un exemple d'architecture matérielle d'un dispositif de réception
- 15 - la figure 7 représente, de façon schématique, un second exemple de système coopératif conforme à l'invention et impliquant des relais.

20

Description détaillée d'un mode de réalisation

Comme mentionné précédemment, l'invention propose une nouvelle construction de codes spatio-temporels pouvant être utilisés dans le cadre de communications coopératives et permettant de garantir une diversité maximale et un rendement maximal du code sans

25 synchronisation préalable des nœuds du système coopératif entre eux. Ainsi, l'invention s'applique indifféremment à des communications coopératives synchrones ou asynchrones en provenance des antennes des nœuds du système.

Cette nouvelle construction s'appuie sur la concaténation et la permutation des colonnes des matrices d'une pluralité de codes spatio-temporels algébriques à couches.

30 Plus précisément, conformément à l'invention, on construit dans un premier temps une matrice dite initiale $\mathbf{X}$ de dimensions $M \times T$, en concaténant L (sous-)matrices $\mathbf{X}_p$ de dimensions

$M \times T_p$, $p=1, \dots, L$, vérifiant $\sum_{p=1}^L T_p = T$, L étant supérieur à 1. Par souci de simplification, dans la suite

de la description, on supposera que $T_p = t = T/L$, quel que soit $p=1, \dots, L$.

Chaque matrice $\mathbf{X}_p$ définit un code spatio-temporel algébrique à couches C_p (i.e. C_p est un code TAST). Comme décrit précédemment, le code C_p est constitué de plusieurs couches

35

(cf. figure 1), chaque couche étant associée à un sous-espace algébrique distinct de sorte à permettre en réception une parfaite suppression de l'interférence liée aux autres couches.

Ainsi, de façon connue, si W désigne le nombre de couches du code C_p et $\mathbf{a}=(a_1, a_2, \dots, a_K)^T$, un vecteur de symboles d'information appartenant à une constellation donnée (ex. PSK, QAM, etc.), divisé en W sous-vecteurs $\mathbf{u}_1, \mathbf{u}_2, \dots, \mathbf{u}_W$ de longueurs respectives $K_1, K_2, \dots, K_W$ telles que $K_1+K_2+\dots+K_W=T_p$, les vecteurs $\mathbf{s}_j$ des symboles codés, $j=1, \dots, W$ correspondant à chaque couche sont définis par :

$$\mathbf{s}_j = \phi_j \mathbf{R}_j \cdot \mathbf{u}_j,$$

où ϕ_j , $j=1, \dots, W$ désigne un nombre complexe et $\mathbf{R}_j$, $j=1, \dots, W$, une matrice de rotation (les matrices $\mathbf{R}_j$ peuvent être identiques pour toutes les couches ou en variante distinctes).

Le choix des nombres ϕ_j pour $j=1, \dots, W$ a un impact sur la diversité et le gain de codage du code C_p , comme décrit notamment dans le document TAST2003. Ainsi, on choisira ici des nombres complexes ϕ_j , $j=1, \dots, W$, ayant une mauvaise approximation diophantienne par des nombres algébriques, de sorte à garantir une diversité maximale et un rendement plein (i.e. maximal) du code C_p .

A titre d'exemple, pour un nombre d'antennes d'émission $M=3$ et $W=3$ couches constituées chacune d'un seul symbole, le code TAST défini par la matrice $\mathbf{X}_C$ suivante est optimal dans le sens où il permet d'atteindre une diversité maximale (égale à $3N$, N désignant le nombre d'antennes de réception du système MIMO considéré) et un rendement plein (égal à $\min(3, N)$) :

$$\mathbf{X}_C = \begin{bmatrix} s_{11} & \phi^{\frac{2}{3}} s_{32} & \phi^{\frac{1}{3}} s_{23} \\ \phi^{\frac{1}{3}} s_{21} & s_{12} & \phi^{\frac{2}{3}} s_{33} \\ \phi^{\frac{2}{3}} s_{31} & \phi^{\frac{1}{3}} s_{22} & s_{13} \end{bmatrix}$$

avec $\phi = e^{\frac{j\pi}{12}}$ et $(s_{j1}, s_{j2}, s_{j3})^T = \mathbf{R}(u_{j1}, u_{j2}, u_{j3})^T$, $j=1, 2, 3$, $\mathbf{R}$ désignant une matrice de rotation et les symboles $u_{11}, u_{12}, \dots, u_{33}$ désignant des symboles d'information appartenant à une constellation déterminée.

Les codes spatio-temporels algébriques à couches étant connus de l'homme du métier et évoqués plus en détails dans le document TAST2003, ils ne seront pas décrits davantage ici.

Dans la suite de la description, les codes C_p considérés seront des codes TAST optimaux de diversité maximale et de rendement plein. Par souci de simplification, on se limitera à un symbole par couche, chaque couche étant espacée d'un symbole entre deux antennes successives. Toutefois l'invention s'applique également lorsque les couches des codes TAST comprennent plusieurs symboles et à des agencements différents des couches.

La matrice initiale $\mathbf{X}$ de dimensions $M \times T$ obtenue par concaténation des L matrices $\mathbf{X}_p$ $p=1, \dots, L$ est définie par :

$$\mathbf{X} = \begin{pmatrix} \underbrace{X_{11}^1 \dots X_{1t}^1}_{\mathbf{X1}(C1)} & \dots & \underbrace{X_{11}^i \dots X_{1t}^i}_{\mathbf{Xi}(Ci)} & \dots & \underbrace{X_{11}^L \dots X_{1t}^L}_{\mathbf{XL}(CL)} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \underbrace{X_{M1}^1 \dots X_{Mt}^1}_{\mathbf{X1}(C1)} & \dots & \underbrace{X_{M1}^i \dots X_{Mt}^i}_{\mathbf{Xi}(Ci)} & \dots & \underbrace{X_{M1}^L \dots X_{Mt}^L}_{\mathbf{XL}(CL)} \end{pmatrix}$$

Conformément à l'invention, dans un second temps, on permute les colonnes de la matrice $\mathbf{X}$ pour former une matrice $\mathbf{Y}$. Dans l'exemple envisagé ici, on utilise à cette fin une permutation σ définie par :

$$\sigma(x_{i,j+(p-1)t}) = y_{i,(j-1)L+p}, \quad i=1,\dots,M, \quad j=1,\dots,t, \quad p=1,\dots,L$$

$x_{m,n}$ et $y_{m,n}$ désignant respectivement les composantes situées à la m -ième ligne et à la n -ième colonne des matrices $\mathbf{X}$ et $\mathbf{Y}$.

Autrement dit, selon la permutation σ :

- on classe d'abord, dans la matrice $\mathbf{Y}$, les premières colonnes des sous-matrices $\mathbf{X1}, \dots, \mathbf{XL}$, les unes après les autres ;
- puis, on classe, tour à tour, les colonnes des sous-matrices $\mathbf{X1}, \dots, \mathbf{XL}$, de la deuxième colonne jusqu'à la t -ième colonne, les unes après les autres, comme on l'a fait pour les premières colonnes.

La matrice $\mathbf{Y}$ obtenue après permutation est donnée par :

$$\mathbf{Y} = \begin{pmatrix} X_{11}^1 \dots X_{11}^i \dots X_{11}^L & \dots & X_{1j}^1 \dots X_{1j}^i \dots X_{1j}^L & \dots & X_{1t}^1 \dots X_{1t}^i \dots X_{1t}^L \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{M1}^1 \dots X_{M1}^i \dots X_{M1}^L & \dots & X_{Mj}^1 \dots X_{Mj}^i \dots X_{Mj}^L & \dots & X_{Mt}^1 \dots X_{Mt}^i \dots X_{Mt}^L \end{pmatrix}$$

Cette matrice définit un code spatio-temporel $\mathbf{C}$ de dimensions $M \times T$ construit conformément à l'invention. La permutation σ appliquée sur les colonnes de la matrice $\mathbf{X}$ a permis, pour chaque code algébrique $\mathbf{Cp}$, d'espacer de L symboles les symboles appartenant à une même couche de ce code et destinés à être transmis par des antennes successives distinctes. Autrement dit, chaque symbole appartenant à une même couche du code $\mathbf{Cp}$ sera transmis par des antennes successives distinctes à des instants espacés de L temps symbole.

En variante, d'autres permutations peuvent être envisagées conduisant par exemple à un espacement des symboles inférieur ou égal à L entre deux antennes successives (i.e. deux lignes successives de la matrice).

Les figures 2A-2B et 3A-3B illustrent des exemples de matrices de codes spatio-temporels construites à l'aide de l'invention et de la permutation σ .

Plus précisément, la **figure 2A** représente une matrice $\mathbf{X'}$ obtenue par concaténation de $L=3$ codes spatio-temporels algébriques à couches $\mathbf{C1'}$, $\mathbf{C2'}$, $\mathbf{C3'}$ de dimensions 3×3 .

Chaque code $\mathbf{C1'}$, $\mathbf{C2'}$, $\mathbf{C3'}$ a la structure en couches suivante :

- les couches 1, 2 et 3 désignent les couches de la matrice $\mathbf{X1'}$ du code $\mathbf{C1'}$;
- les couches 4, 5 et 6 désignent les couches de la matrice $\mathbf{X2'}$ du code $\mathbf{C2'}$; et
- les couches 7, 8 et 9 désignent les couches de la matrice $\mathbf{X3'}$ du code $\mathbf{C3'}$,

les couches 1-9 étant constituées ici d'un seul symbole chacune.

La **figure 2B** représente la matrice Y' obtenue après application de la permutation σ définie précédemment à la matrice X' .

De façon similaire, la **figure 3A** représente une matrice X'' obtenue par concaténation de $L=2$ codes spatio-temporels algébriques à couches $C1''$ et $C2''$ de dimensions 4×4 .

Chaque code $C1''$ et $C2''$ a la structure en couches représentée sur la figure 1. Autrement dit :

- les couches 1, 2, 3 et 4 désignent les couches de la matrice $X1''$ du code $C1''$; et
 - les couches 5, 6, 7 et 8 désignent les couches de la matrice $X2''$ du code $C2''$;
- les couches 1-8 étant constituées d'un seul symbole chacune.

La **figure 3B** représente la matrice Y'' obtenue après application de la permutation σ définie précédemment à la matrice X'' .

Nous allons maintenant décrire, en référence à la **figure 4**, un exemple d'utilisation du code spatio-temporel C obtenu conformément à l'invention, pour mettre en œuvre des communications coopératives au sein d'un réseau.

La figure 4 représente, dans son environnement, un système coopératif I d'un réseau de télécommunications conforme à l'invention, dans un mode particulier de réalisation. Le réseau de télécommunications est par exemple un réseau mobile cellulaire, ou un réseau de capteurs, ou un réseau adhoc, etc.

Le système coopératif I est composé de M nœuds $A1, A2, \dots, AM$, conformes à l'invention. Dans l'exemple envisagé ici, M désigne un entier strictement supérieur à 2. Toutefois, il apparaît de façon évidente pour l'homme du métier que la construction proposée par l'invention s'applique également lorsque $M=2$.

Les nœuds $A1, A2, \dots, AM$ sont par exemple des terminaux mobiles ou des stations de base lorsque le réseau de communications est un réseau mobile cellulaire. Bien entendu, d'autres types de nœuds peuvent être considérés, comme par exemple des capteurs selon la nature du réseau considéré.

Ces nœuds ont ici l'architecture matérielle d'un ordinateur représentée sur la **figure 5**. Ils comportent notamment un processeur 10, une mémoire vive 11, une mémoire morte 12, et une mémoire non volatile 13. Chaque nœud est également doté de moyens 14 de communication lui permettant d'émettre des signaux sur le réseau de communication à destination d'autres équipements. Ces moyens de communication comprennent dans cet exemple particulier une seule antenne d'émission.

La mémoire morte 12 de chaque nœud Ai constitue un support d'enregistrement conforme à l'invention, lisible par le processeur 10 et sur lequel est enregistré un programme d'ordinateur conforme à l'invention, comportant des instructions pour l'exécution des étapes d'un procédé de transmission selon l'invention.

Conformément à l'invention, le système coopératif I utilise de manière distribuée le code spatio-temporel C défini par la matrice **Y**. A cette fin, chaque nœud A_i , $i=1,...,M$, émet à destination d'un dispositif de réception D du réseau muni de N antennes de réception (N étant un nombre entier quelconque), une trame de symboles de longueur T correspondant à une ligne distincte d'un mot du code spatio-temporel C.

Ainsi, par exemple, le nœud A1 émet une trame codée conformément à la première ligne de la matrice **Y**, le nœud A2 émet une trame codée conformément à la deuxième ligne de la matrice **Y**, ..., et le nœud AM émet une trame codée conformément à la M-ième ligne de la matrice **Y**.

Les trames de symboles émises par les nœuds A1, A2,..., AM arrivent respectivement avec un décalage temporel $\tau_1, \tau_2, ..., \tau_M$ au niveau du dispositif de réception D. Les nœuds A1, A2,..., AM n'étant pas nécessairement synchronisés, les décalages $\tau_1, \tau_2, ..., \tau_M$ peuvent être distincts.

Le dispositif D est un dispositif de réception conforme à l'invention. Il dispose ici de l'architecture matérielle d'un ordinateur telle que représentée sur la **figure 6**, et comporte notamment un processeur 20, une mémoire vive 21, une mémoire morte 22, et une mémoire non volatile 23. Le dispositif de réception D est également doté de moyens 24 de communication lui permettant de recevoir des signaux émis sur le réseau de communication par d'autres équipements. Ces moyens de communication comprennent ici N antennes de réception.

La mémoire morte 22 du dispositif de réception constitue un support d'enregistrement conforme à l'invention, lisible par le processeur 20 et sur lequel est enregistré un programme d'ordinateur conforme à l'invention, comportant des instructions pour l'exécution des étapes d'un procédé de réception selon l'invention.

Par souci de simplification, mais sans perte de généralisation, le dispositif de réception D est supposé ici synchrone avec le nœud A1, de sorte que $\tau_1=0$.

La matrice **CR_x** des trames (i.e. du mot de code) reçues sur chaque antenne de réception du dispositif D peut donc s'écrire sous la forme suivante :

$$CR_x = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{1T} & 0 & \dots & \dots & 0 \\ 0^{\Delta_2} & Y_{21} & Y_{22} & \dots & Y_{2T} & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ & & 0^{\Delta_M} & & Y_{M1} & Y_{M2} & \dots & Y_{MT} \end{bmatrix}$$

où y_{ij} désigne le symbole codé de la matrice **Y** situé à l'intersection de la i-ème ligne et de la j-ème colonne, et 0^{Δ_i} représente un vecteur nul de taille Δ_i , $\Delta_i, i=2,...,M$ désignant le retard relatif $\tau_i - \tau_1$ de la trame transmise par le nœud A_i par rapport à la trame transmise par le nœud A1.

Compte tenu de la forme de la matrice **CR_x**, on comprend bien que la permutation σ appliquée lors de la construction du code spatio-temporel C permet de conserver une diversité maximale pour certaines valeurs des écarts relatifs $\Delta_i, \Delta_i, i=2,...,M$. Cette diversité maximale sera garantie tant que des symboles appartenant à une même couche d'un code algébrique C_p et émis

par des antennes distinctes (i.e. ici par des nœuds distincts) n'arrivent pas en même temps au niveau du dispositif de réception D, afin d'éviter toute interférence entre les couches. On peut ainsi définir un profil de délais relatifs entre les nœuds A1, A2,..., AM permettant de conserver une diversité maximale.

- 5 Ainsi, dans le cas par exemple du code défini par la matrice Y' représentée sur la figure 2B, les profils de délais relatifs (Δ_2 , Δ_3) exprimés en multiple du temps symbole, pour lesquels la diversité pleine de $3 \times N$ est conservée, sont donnés par :
- si l'un des deux délais relatifs est nul, le deuxième délai relatif peut prendre les valeurs -2, -1, 0, 1, 2 ;
 - 10 – si l'un des deux délais relatifs est égal à 1, le deuxième délai relatif peut prendre les valeurs -1, 0, 1, 2 ;
 - si l'un des deux délais relatifs est égal à -1, le deuxième délai relatif peut prendre les valeurs -2, -1, 0, 1 ;
 - si l'un des deux délais relatifs est égal à 2, le deuxième délai relatif peut prendre les valeurs 0, 1, 2 ;
 - 15 – si l'un des deux délais relatifs est égal à -2, le deuxième délai relatif peut prendre les valeurs -2, -1, 0 ; et
 - les délais relatifs (Δ_2 , Δ_3) peuvent également prendre les valeurs (-1,-3), (-2,-4), (3,1) et (4,2).

De façon similaire, dans le cas du code défini par la matrice Y'' représentée sur la figure 3B, les profils de délais relatifs (Δ_2 , Δ_3 , Δ_4) exprimés en multiple du temps symbole, pour lesquels la diversité pleine de $4 \times N$ est conservée, sont : (0, 0, 0), (0, -1, 0), (0, 1, 0), (0, 0, -1), (0, 0, 1), (0, -1, -2), (0, 1, 1), (0, 1, -2), (1, 1, -2), (-1, -1, -2), (-1, 0, 0), (-1, -1, 0), (-1, -2, 0), (-1, 0, -1), (-1, 0, 1), (-1, 1, 0), (-1, 1, 1), (-1, -1, -1), (1, 0, 0), (1, 0, 1), (1, 1, 0), (1, 1, 1), (2, -1, 0), (2, 1, 0), (2, -1, 1), (2, -1, -1), (2, -2, 0), (2, -2, 1), (2, -2, -1), (-1, 2, -1), (-1, 2, 0), (1, -2, 0), (-1, -2, -1), (1, 2, 1), (0, 2, 1), (0, 2, -1), (1, 2, -1), (0, 2, -2), (1, 2, -2) et (2, 2, -1).

Le dispositif de réception D décode les trames reçues sur ses antennes de réception en tenant compte des délais relatifs Δ_i , $i=2, \dots, M$ et de la structure du code spatio-temporel C (i.e. de sa matrice Y). Il peut utiliser à cette fin un décodeur par sphères connu de l'homme du métier, comme décrit notamment dans le document Damen2007.

30 La **figure 7** illustre un second exemple de système coopératif I' conforme à l'invention. Le système coopératif I' est ici un système à relais, comprenant une source S, M relais R1, R2,..., RM ($M > 2$) et un dispositif de réception D. Les relais Ri, $i=1, \dots, M$ sont des nœuds conformes à l'invention, équipé chacun, dans cet exemple particulier, d'une seule antenne pour la transmission des données, ce qui ne leur permet pas d'envoyer et de recevoir simultanément des données.

35 La transmission du signal de la source S jusqu'au dispositif de réception D est réalisée en deux phases ϕ_1 et ϕ_2 .

Durant la première phase ϕ_1 , la source diffuse un message à l'attention des relais $R_1, R_2, \dots, R_M$, de façon conventionnelle. Pendant la seconde phase ϕ_2 , les relais $R_1, R_2, \dots, R_M$ utilisent un protocole « Decode-and-Forward » (DF), connu en soi, pour relayer simultanément le signal reçu de la source S jusqu'au destinataire D (la source S n'émet pas durant la phase ϕ_2).

5 Les relais $R_1, R_2, \dots, R_M$ étant destinés à émettre simultanément, ils implémentent de façon distribuée un code spatio-temporel C construit conformément à l'invention.

Ainsi, chaque relai $R_i, i=1, \dots, M$, émet ici une trame de longueur T correspondant à une ligne distincte d'un mot du code spatio-temporel C de dimensions $M \times T$, défini par la matrice Y introduite précédemment en référence aux figures 2 à 5.

10 Du fait de la nature distribuée du réseau, des délais $\tau_1', \tau_2', \dots, \tau_M'$ différents peuvent être introduits par les relais $R_1, R_2, \dots, R_M$.

Les relais $R_1, R_2, \dots, R_M$ se comportent ainsi comme les nœuds $A_1, A_2, \dots, A_M$ du système coopératif I représenté à la figure 6 : les schémas de transmission et de réception décrits en regard de la figure 6 et la construction des codes spatio-temporels conformément à l'invention décrit en regard des figures 2 à 5 étant les mêmes que pour le système coopératif I , ils ne sont pas redécrits ici.

20 Dans les exemples décrits ici, chaque nœud est équipé d'une seule antenne d'émission, de sorte que M nœuds sont utilisés pour transmettre les M lignes d'un mot de code spatio-temporel défini par la matrice Y . En variante, les nœuds peuvent être équipés de plusieurs antennes d'émission, chaque nœud pouvant alors transmettre plusieurs lignes (i.e. autant que d'antennes d'émission) de la matrice Y .

REVENDEICATIONS

1. Procédé de transmission mis en œuvre par un nœud d'un système de communications coopératif (I,I') composé d'une pluralité de nœuds (A1-AM,R1-RM), ledit procédé
 5 comprenant une étape d'émission d'au moins une trame de T symboles par ledit nœud, ladite trame correspondant à une ligne d'une matrice Y définissant un mot d'un code spatio-temporel, ledit procédé étant caractérisé en ce que ladite matrice Y est de dimensions $M \times T$, M étant supérieur à 2, et résulte de l'application d'une permutation σ sur les colonnes d'une matrice initiale X formée par concaténation de L sous-matrices X_p de dimensions $M \times T_p$, $p=1, \dots, L$, et $\sum_{p=1}^L T_p = T$,
 10 chaque sous-matrice X_p définissant un code spatio-temporel algébrique à couches.

2. Procédé de transmission selon la revendication 1, caractérisé en ce que dans la matrice Y, les symboles appartenant à une même couche d'un code spatio-temporel algébrique défini par l'une des sous-matrices X_p et destinés à être transmis par des nœuds distincts du
 15 système coopératif, sont espacés d'un nombre de symboles déterminé supérieur à 1.

3. Procédé de transmission selon la revendication 2 caractérisé en ce que $T_p = T/L$, $p=1, \dots, L$, et le nombre de symboles déterminé est égal à L.

20 4. Procédé de transmission selon la revendication 3, caractérisé en ce que la matrice Y résulte de l'application sur la matrice X de la permutation σ définie par :

$$\sigma \left(X_{i, j+(p-1)\frac{T}{L}} \right) = Y_{i, (j-1)L+p}, \quad i=1, \dots, M, \quad j=1, \dots, T/L, \quad p=1, \dots, L$$

$X_{m,n}$ et $Y_{m,n}$ désignant respectivement les composantes situées à la m-ième ligne et à la n-ième
 25 colonne des matrices X et Y.

5. Programme d'ordinateur comportant des instructions pour l'exécution des étapes du procédé de transmission selon la revendication 1 lorsque ledit programme est exécuté par un ordinateur.

30 6. Support d'enregistrement lisible par un ordinateur sur lequel est enregistré un programme d'ordinateur comprenant des instructions pour l'exécution des étapes du procédé de transmission selon la revendication 1.

7. Procédé de communication mis en œuvre par un système de communications
 35 coopératif (I,I') composé d'une pluralité de nœuds (A1-AM,R1-RM), ledit procédé étant caractérisé

en ce qu'il comprend la transmission d'au moins une trame de T symboles par chaque nœud du système conformément à un procédé de transmission selon la revendication 1, chaque nœud transmettant au moins une ligne distincte d'un mot du code spatio-temporel défini par la matrice Y de dimensions $M \times T$, M étant supérieur à 2.

5

8. Procédé de réception comprenant :

– une étape de réception de trames résultant de la transmission de M trames de T symboles par une pluralité de nœuds ($A1-AM, R1-RM$) d'un système de communications coopératif (I, I'), M étant supérieur à 2 ; et

10 – une étape de décodage des trames reçues en utilisant un décodeur (D) apte à décoder un mot d'un code spatio-temporel de dimensions $M \times T$;

ledit procédé de réception étant caractérisé en ce que ledit code spatio-temporel est défini par une matrice Y de dimensions $M \times T$ résultant de l'application d'une permutation σ sur les colonnes d'une matrice initiale X formée par concaténation de L sous-matrices X_p de dimensions $M \times T_p$, $p=1, \dots, L$,

15 et $\sum_{p=1}^L T_p = T$, chaque sous-matrice X_p définissant un code spatio-temporel algébrique à couches.

9. Nœud ($A1-AM, R1-RM$) d'un système de communications coopératif (I, I') composé d'une pluralité de nœuds, ledit nœud comprenant des moyens pour émettre au moins une trame de T symboles, ladite trame correspondant à une ligne d'une matrice Y définissant un mot d'un code spatio-temporel, ledit nœud étant caractérisé en ce que ladite matrice Y est de dimensions $M \times T$, M étant supérieur à 2, et résulte de l'application d'une permutation σ sur les colonnes d'une matrice initiale X formée par concaténation de L sous-matrices X_p de dimensions $M \times T_p$, $p=1, \dots, L$,

20

et $\sum_{p=1}^L T_p = T$, chaque sous-matrice X_p définissant un code spatio-temporel algébrique à couches.

25 10. Nœud d'un système de communications coopératif selon la revendication 9, caractérisé en ce que dans la matrice Y , les symboles appartenant à une même couche d'un code spatio-temporel algébrique défini par l'une des sous-matrices X_p et destinés à être transmis par des nœuds distincts du système coopératif, sont espacés d'un nombre de symboles déterminé supérieur à 1.

30

11. Nœud d'un système de communications coopératif selon la revendication 10 caractérisé en ce que $T_p = T/L$, $p=1, \dots, L$, et le nombre de symboles déterminé est égal à L .

12. Nœud d'un système de communications coopératif selon la revendication 11, caractérisé en ce que la matrice Y résulte de l'application sur la matrice X de la permutation σ définie par :

$$\sigma \left(x_{i, j+(p-1)\frac{T}{L}} \right) = y_{i, (j-1)L+p}, \quad i=1, \dots, M, \quad j=1, \dots, T/L, \quad p=1, \dots, L$$

- 5 $x_{m,n}$ et $y_{m,n}$ désignant respectivement les composantes situées à la m-ième ligne et à la n-ième colonne des matrices X et Y.

- 10 -13. Système de communications coopératif (I,I') comprenant une pluralité de nœuds (A1-AM, R1-RM), caractérisé en ce que chaque nœud du système est conforme à la revendication 9 et transmet au moins une ligne distincte d'un mot du code spatio-temporel défini par la matrice Y de dimensions $M \times T$, M étant supérieur à 2.

14. Dispositif de réception (D) comprenant :

- 15 – des moyens de réception de trames, chaque trame résultant de la transmission de M trames de T symboles par une pluralité de nœuds d'un système de communications coopératif, M étant supérieur à 2 ; et
– des moyens de décodage des trames reçues utilisant un décodeur apte à décoder un mot d'un code spatio-temporel de dimensions $M \times T$;

20 ledit dispositif de réception étant caractérisé en ce que ledit code spatio-temporel est défini par une matrice Y de dimensions $M \times T$ résultant de l'application d'une permutation σ sur les colonnes d'une matrice initiale X formée par concaténation de L sous-matrices X_p de dimensions $M \times T_p$, $p=1, \dots, L$, et $\sum_{p=1}^L T_p = T$, chaque sous-matrice X_p définissant un code spatio-temporel algébrique à couches.

1/3

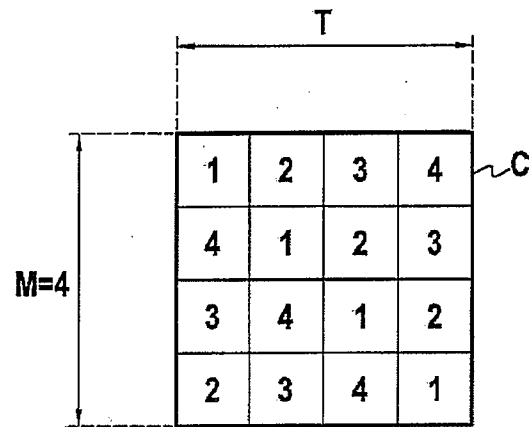


FIG.1

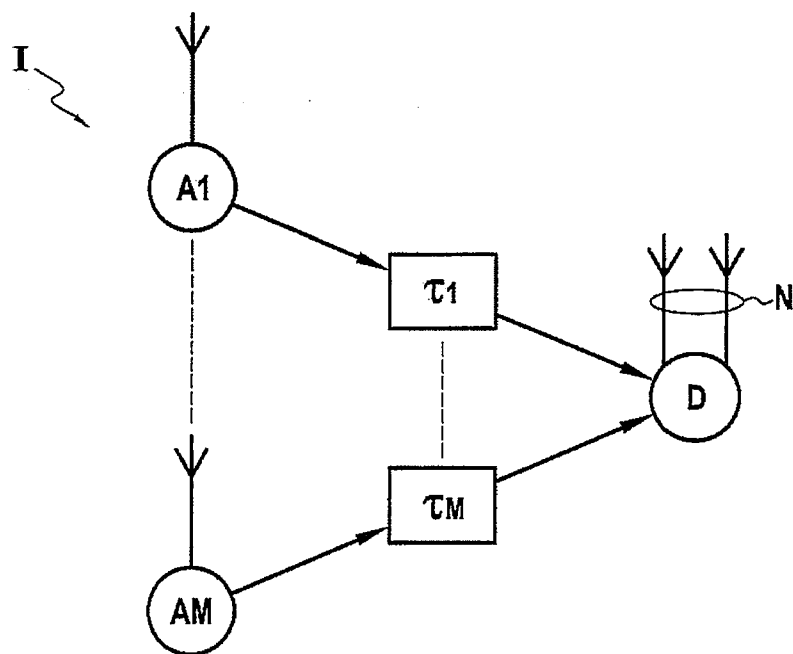


FIG.4

