

12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22) Date de dépôt : 01.02.08.

30) Priorité :

43) Date de mise à la disposition du public de la demande : 07.08.09 Bulletin 09/32.

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

60) Références à d'autres documents nationaux apparentés :

71) Demandeur(s) : ALCATEL LUCENT Société par actions simplifiée — FR et ECOLE SUPERIEURE D'ELECTRICITE - SUPELEC — FR.

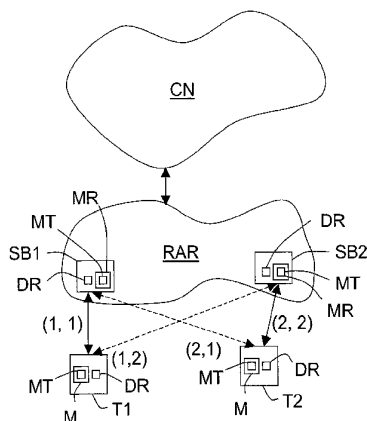
72) Inventeur(s) : DEBBAH MEROUANE.

73) Titulaire(s) :

74) Mandataire(s) : COMPAGNIE FINANCIERE ALCA-TEL-LUCENT.

54) PROCÉDE DE TRANSMISSION DE DONNÉES PAR SÉLECTION DE TYPE DE MODULATION, POUR UN RESEAU DE COMMUNICATION A MULTIPLEXAGE EN FREQUENCE, ET MODULATEUR ET DEMODULATEUR ASSOCIES.

57) 19
Un procédé est dédié à la transmission, dans un réseau de communication à multiplexage en fréquence, de blocs de données S_N de longueur N entre un équipement émetteur (T1) et un équipement récepteur (SB2) sur un canal de communication à réponse impulsionnelle de longueur L . Ce procédé comprend les étapes consistant: i) à déterminer un vecteur H de $L+1$ composantes h_k ($k = 0$ à L) représentatif de la réponse impulsionnelle du canal de communication de l'équipement émetteur (T1) vers l'équipement récepteur (SB2), ii) à déterminer L racines complexes a_m ($m = 1$ à L) d'un polynôme $S(z)$ choisi fonction des composantes h_k du vecteur H , iii) à construire une matrice dite de Vandermonde à partir des L racines complexes a_m , et iv) à transmettre un signal S résultant d'une combinaison d'un bloc de données S_N avec cette matrice de Vandermonde



FR 2 927 204 - A1



PROCÉDÉ DE TRANSMISSION DE DONNÉES PAR SÉLECTION DE TYPE DE MODULATION, POUR UN RÉSEAU DE COMMUNICATION À MULTIPLEXAGE EN FRÉQUENCE, ET MODULATEUR ET DÉMODULATEUR ASSOCIÉS

5

L'invention concerne les réseaux de communication à multiplexage en fréquence, et plus précisément la réduction des interférences qui résultent de l'utilisation simultanée d'une même bande de fréquences par plusieurs équipements de communication d'utilisateurs connectés à de tels réseaux.

L'invention concerne tout type de réseau, filaire ou non filaire, mettant en œuvre un multiplexage en fréquence (éventuellement de type OFDM (« Orthogonal Frequency Division Multiplex »)) sur son réseau d'accès. Par conséquent, elle concerne notamment les réseaux terrestres qui implémentent une technologie issue d'une technologie satellite, ou les réseaux de téléphonie mobile (ou cellulaire), tels que l'évolution de l'UMTS appelée LTE (« Long Term Evolution »), ou les réseaux locaux sans fil (standards WLAN (« Wireless Local Area Network » - IEEE 802.11a, Wi-Fi (802.11g), ETSI HiperLAN/2), et WiMAX (IEEE 802.16, ETSI HiperMAN)), ou les réseaux à lignes de transmission de données, comme par exemple des lignes de type xDSL (pour « x Digital Subscriber Line ») ou des câbles ou encore des fibres optiques, ou les réseaux de diffusion terrestre et/ou satellitaire (par exemple de type DVB), et plus généralement tout type de réseau (ou infrastructure) disposant de canaux de communication sélectifs en fréquence (ou à mémoire ou encore à réponse impulsionnelle non nulle).

Par ailleurs, on entend ici par « équipement de communication » tout équipement d'utilisateur ou de réseau, filaire ou non filaire (mobile ou portable ou encore cellulaire), capable d'échanger des données avec d'autres équipements de communication (éventuellement de réseau), via un réseau à multiplexage en fréquence (éventuellement de type OFDM). Par conséquent, il pourra par exemple s'agir de téléphones fixes ou mobiles (ou cellulaires), d'ordinateurs fixes ou portables, d'assistants numériques personnels (ou

PDA), de récepteurs de contenus (comme par exemple des décodeurs, des passerelles résidentielles (ou « residential gateways ») ou des STBs (« Set-Top Boxes »)), dès lors qu'ils sont équipés de moyens de communication.

Comme le sait l'homme de l'art, dans un réseau à multiplexage en
5 fréquence, par exemple de type OFDM, chaque usager dispose d'au moins
un canal de communication (correspondant à une bande de fréquences) qui
lui a été alloué et qu'il peut utiliser ou non. Il arrive souvent que des premier et
second équipements (de communication) de deux usagers communiquent en
parallèle avec d'autres équipements (de communication), comme par
10 exemple des première et seconde stations de base, sur les premier et second
canaux de communication qui leurs ont été respectivement alloués. Les
premier et second équipements sont dits équipements primaires vis-à-vis
respectivement des premier et second canaux.

Parfois, le second équipement reçoit de la première station de base
15 les séquences d'apprentissage qu'elle a transmises au premier équipement
sur le premier canal afin qu'il puisse « l'estimer », si bien que ledit second
équipement est également en mesure d'estimer le premier canal et donc de
l'utiliser alors qu'il n'en a pas le droit. Le second équipement est alors dit
équipement secondaire vis-à-vis du premier canal. De même, le premier
20 équipement peut avoir reçu de la seconde station de base les séquences
d'apprentissage qu'elle a transmises au second équipement sur le second
canal afin qu'il puisse l'estimer, si bien que ledit premier équipement est
également en mesure d'estimer le second canal et donc de l'utiliser alors qu'il
n'en a pas le droit. Le premier équipement est alors dit équipement
25 secondaire vis-à-vis du second canal.

Dans la situation précitée deux cas peuvent survenir.

Dans un premier cas, le premier équipement peut transmettre des
signaux sur son premier canal, mais du fait qu'il a estimé les premier et
second canaux, les signaux qu'il émet peuvent être reçus par la seconde
30 station de base. On comprendra que si le second équipement utilise en même
temps son second canal pour transmettre des signaux à la seconde station de
base, les signaux que cette dernière reçoit du premier équipement interfèrent
avec ceux issus du second équipement, ce qui est de nature à réduire la

qualité de la communication sur le second canal.

Dans un second cas, qui survient dans un réseau dit « cognitif », le second équipement peut être momentanément autorisé à utiliser le premier canal à des horaires où l'on sait que le premier équipement ne l'utilise pas habituellement. Or, si ledit premier équipement se met à utiliser son premier canal, les signaux émis par le second équipement vont interférer avec ceux émis par le premier équipement au niveau de la première station de base.

Il n'existe pas aujourd'hui de technique connue permettant de supprimer, voire au moins limiter, l'influence néfaste des interférences au niveau des démodulateurs qui sont utilisés en réception. Cela peut s'avérer problématique pour les opérateurs de réseau qui garantissent à leurs clients un certain niveau de qualité, voire même une absence d'interférence.

L'invention a donc pour but d'améliorer la situation.

Elle propose à cet effet un procédé dédié à la transmission, dans un réseau de communication à multiplexage en fréquence (éventuellement de type OFDM), de blocs de données s_N de longueur N entre un équipement émetteur et un équipement récepteur sur un canal de communication à réponse impulsionnelle de longueur L .

Ce procédé de transmission comprend les étapes consistant :

- i) à déterminer un vecteur H de $L+1$ composantes h_k ($k = 0$ à L) représentatif de la réponse impulsionnelle du canal de communication de l'équipement émetteur vers l'équipement récepteur,
- ii) à déterminer L racines complexes a_m ($m = 1$ à L) d'un polynôme $S(z)$ choisi, fonction des composantes h_k du vecteur H ,
- iii) à construire une matrice dite de Vandermonde à partir des L racines complexes a_m , et
- iv) à transmettre un signal S résultant d'une combinaison d'un bloc de données s_N avec la matrice de Vandermonde.

Le procédé selon l'invention peut comporter d'autres caractéristiques qui peuvent être prises séparément ou en combinaison, et notamment :

- on peut adjoindre au bloc de données s_N , dans l'équipement émetteur, un préfixe de longueur L avant de le combiner à une matrice de Vandermonde

de dimension $(N+L)*L$;

- on peut déterminer L racines complexes a_m ($m = 1$ à L) d'un polynôme $S(z)$ défini par la relation $S(z) = \sum_{k=0}^L h_k * z^k$, dans laquelle les h_k sont les composantes du vecteur H ;
- 5 - au i) on peut déterminer le vecteur H à partir de séquences d'apprentissage transmises par l'équipement récepteur sur le canal de communication.

L'invention propose également un modulateur pour un équipement de communication propre à transmettre des blocs de données s_N de longueur N à un équipement récepteur sur un canal de communication d'un réseau de communication à multiplexage en fréquence (éventuellement de type OFDM), le canal étant à réponse impulsionnelle de longueur L.

Ce modulateur comprend des moyens de traitement chargés :

- de déterminer un vecteur H de $L+1$ composantes h_k ($k = 0$ à L) représentatif de la réponse impulsionnelle du canal de communication de l'équipement émetteur vers l'équipement récepteur,
- 15 - de déterminer L racines complexes a_m ($m = 1$ à L) d'un polynôme $S(z)$ choisi, fonction des composantes h_k dudit vecteur H,
- de construire une matrice dite de Vandermonde à partir des L racines complexes a_m , et
- 20 - de combiner un bloc de données s_N à transmettre avec la matrice de Vandermonde de manière à délivrer un signal S propre à être transmis à l'équipement récepteur.

Le modulateur selon l'invention peut comporter d'autres caractéristiques qui peuvent être prises séparément ou en combinaison, et notamment :

- ses moyens de traitement peuvent être chargés d'adjoindre au bloc de données s_N un préfixe de longueur L avant de le combiner à une matrice de Vandermonde de dimension $(N+L)*L$;
- ses moyens de traitement peuvent être chargés de déterminer L racines complexes a_m ($m = 1$ à L) d'un polynôme $S(z)$ défini par la relation $S(z) =$
- 30

$\sum_{k=0}^L h_k * z^k$, dans laquelle les h_k sont les composantes du vecteur H ;

- ses moyens de traitement peuvent être chargés de déterminer le vecteur H à partir de séquences d'apprentissage transmises par l'équipement récepteur sur le canal de communication.

5 L'invention propose également un démodulateur pour un équipement de communication propre à recevoir des blocs de données s_N d'au moins un équipement émetteur sur au moins un canal de communication à réponse impulsionnelle d'un réseau de communication à multiplexage en fréquence (éventuellement de type OFDM).

10 Ce démodulateur est agencé, lorsqu'un premier équipement émetteur veut lui transmettre sur un canal des signaux représentatifs de blocs de données qu'il a modulés avec une matrice de Vandermonde correspondant à ce canal entre le premier équipement et l'équipement de communication, pour déterminer une matrice inverse de cette matrice de Vandermonde, puis pour
15 démoduler les signaux qui sont transmis par le premier équipement avec la matrice de Vandermonde inverse, afin de récupérer les blocs de données qu'ils représentent.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à l'examen de la description détaillée ci-après, et du dessin annexé, sur lequel
20 l'unique figure illustre de façon très schématique un réseau à multiplexage en fréquence comprenant des stations de base équipées chacune d'un modulateur et d'un démodulateur selon l'invention, et auquel sont connectés des équipements d'utilisateur équipés chacun d'un modulateur selon l'invention. Le dessin annexé pourra non seulement servir à compléter l'invention, mais
25 aussi contribuer à sa définition, le cas échéant.

L'invention a pour objet de limiter, et si possible supprimer, l'influence néfaste des interférences au niveau des démodulateurs qui sont utilisés en réception par les équipements de communication qui sont connectés à un réseau de communication comportant un réseau d'accès mettant en œuvre
30 un multiplexage en fréquence, éventuellement de type OFDM.

Dans ce qui suit, on considère à titre d'exemple non limitatif que le réseau est un réseau local sans fil OFDM, par exemple de type WiMAX (IEEE

802.16 ou ETSI HiperMAN). Mais, l'invention n'est pas limitée à ce type de réseau à multiplexage en fréquence. Elle concerne en effet tout type de réseau, filaire ou non filaire, mettant en œuvre un multiplexage en fréquence (éventuellement de type OFDM) sur son réseau d'accès, et notamment les réseaux terrestres implémentant une technologie issue d'une technologie satellite, les réseaux de téléphonie mobile (ou cellulaire), tels que l'évolution de l'UMTS appelée LTE (« Long Term Evolution »), les réseaux locaux sans fil (standards WLAN (« Wireless Local Area Network » - IEEE 802.11a, Wi-Fi (802.11g), ETSI HiperLAN/2)), les réseaux à lignes de transmission de données, comme par exemple des lignes de type xDSL (pour « x Digital Subscriber Line ») ou des câbles ou encore des fibres optiques, et les réseaux de diffusion terrestre et/ou satellitaire (par exemple de type DVB), et plus généralement tout type de réseau (ou infrastructure) disposant de canaux de communication sélectifs en fréquence (ou à mémoire ou encore à réponse impulsionnelle non nulle).

Par ailleurs, compte tenu du choix de réseau précité, on considère dans ce qui suit, à titre d'exemple non limitatif, que les équipements de communication sont des téléphones mobiles (ou cellulaires). Mais, l'invention n'est pas limitée à ce type d'équipement de communication. Elle concerne en effet tout type d'équipement d'utilisateur ou de réseau, filaire ou non filaire (mobile ou portable ou encore cellulaire), capable d'échanger des données avec d'autres équipements de communication (éventuellement de réseau), via un réseau à multiplexage en fréquence (éventuellement de type OFDM), et notamment les téléphones fixes, les ordinateurs fixes ou portables, les assistants numériques personnels (ou PDAs), les récepteurs de contenus (comme par exemple les décodeurs, les passerelles résidentielles (ou « residential gateways ») ou les STBs (« Set-Top Boxes »)), dès lors qu'ils sont équipés de moyens de communication.

Comme cela est schématiquement et fonctionnellement illustré sur l'unique figure, un réseau local sans fil (ici de type WiMAX), comprend au moins un réseau d'accès radio RAR, généralement appelé ASN (« Access Service Network »), et auquel peuvent se connecter des équipements (de communication) d'utilisateurs Ti, et un cœur de réseau CN couplé au réseau

d'accès radio RAR. Ici $i = 1$ ou 2 , mais cet indice i peut prendre n'importe quelle valeur supérieure ou égale à 1 .

Il est rappelé qu'un réseau d'accès radio RAR de type ASN comprend notamment au moins un équipement de communication de réseau SBj, généralement appelé station de base (ou BS, pour « Base Station » -
 5 équivalent d'un multiplexeur DSLAM dans un réseau xDSL), et par lequel les équipements d'utilisateurs T_i peuvent se connecter au réseau local sans fil. Ici $j = 1$ ou 2 , mais cet indice j peut prendre n'importe quelle valeur supérieure ou égale à 1 .

10 Lorsque le réseau met en œuvre un multiplexage en fréquence (ici de type OFDM), chaque équipement d'utilisateur T_i et chaque station de base SBj comprend un modulateur MR ou MR', chargé de moduler les blocs de données à transmettre via un canal de communication (radio) à réponse impulsionnelle du réseau d'accès (radio) RAR, et un démodulateur DR ou
 15 DR', chargé de démoduler les blocs de données transmis.

Il est rappelé que dans un réseau OFDM, on attribue (ou alloue) à chaque usager client au moins un canal de communication (c'est-à-dire une bande de fréquences) qu'il peut utiliser quand il le souhaite.

Un modulateur classique d'équipement d'utilisateur T_i est chargé de
 20 moduler des blocs de données s_N de longueur N afin de délivrer des signaux $X_N^{(i)}$ qui doivent être transmis à un équipement récepteur, ici une station de base SBj, sur le canal de communication à réponse impulsionnelle de longueur L qui a été alloué à son équipement d'utilisateur T_i . Un signal $X_N^{(i)}$ peut être défini par la matrice colonne, de dimension N , suivante :

$$25 \quad X_N^{(i)} = \begin{pmatrix} x_1^{(i)} \\ x_2^{(i)} \\ \vdots \\ x_N^{(i)} \end{pmatrix} = F_N^H \begin{pmatrix} s_1^{(i)} \\ s_2^{(i)} \\ \vdots \\ s_N^{(i)} \end{pmatrix} = F_N^H s^{(i)},$$

où $F_N^H = F_N^{-1}$ est la matrice inverse de la transformée de Fourier rapide (ou FTT (« Fast Fourier Transform »)), et $s^{(i)}$ est le signal de l'équipement d'utilisateur T_i qui est transmis par bloc de données de longueur N avec des indices de porteuse $\{1, 2, \dots, N\}$ et qui appartient à l'ensemble $|\mathbb{N}^{N \times 1}$.

On notera que la longueur L du canal OFDM à réponse impulsionnelle est souvent égale à $N/4$. Mais, cela n'est pas obligatoire.

Dans la pratique, on adjoint au signal à transmettre $X_N^{(i)}$ un préfixe cyclique (ou intervalle de garde) de taille L afin de transmettre un signal $X_{N+L}^{(i)}$ défini par la matrice colonne, de dimension $N+L$, suivante :

$$X_{N+L}^{(i)} = \begin{pmatrix} x_{N-L+1}^{(i)} \\ \vdots \\ x_N^{(i)} \\ x_1^{(i)} \\ \vdots \\ x_N^{(i)} \end{pmatrix}.$$

On considère dans ce qui suit que l'on transmet des signaux $X_{N+L}^{(i)}$ à préfixe cyclique (ou redondance additionnelle).

Lorsqu'un premier équipement d'utilisateur T_i (par exemple T_1) veut transmettre à une première station de base SB_j (par exemple SB_1) un signal $X_{N+L}^{(i)}$ sur un premier canal OFDM (à réponse impulsionnelle) $(1, 1)$ qui lui a été alloué dans une bande de fréquences, et que dans le même temps un second équipement d'utilisateur T_i' (par exemple T_2) veut transmettre à une seconde station de base SB_j' (par exemple SB_2) un signal $X_{N+L}^{(i')}$ sur un second canal OFDM (à réponse impulsionnelle) $(2, 2)$ qui lui a été alloué (dans la même bande que celle du premier canal OFDM), le démodulateur de la première station de base SB_j reçoit un signal $r_{SB_j}^D$ qui est défini par la relation suivante :

$$r_{SB_j}^D = C_{N+L}^{(i,j)} X_{N+L}^{(i)} + C_{N+L}^{(i',j)} X_{N+L}^{(i')} + n \quad (1),$$

où :

- $C_{N+L}^{(i,j)}$ représente la matrice complexe du premier canal de communication OFDM (i, j) (par exemple $(1, 1)$) entre le premier équipement d'utilisateur émetteur T_i (T_1) et le premier équipement récepteur (ici la première station de base) SB_j (SB_1), laquelle est définie par la relation :

$$C_{N+L}^{(i,j)} = \begin{pmatrix} h_L^{(i,j)} & \dots & h_0^{(i,j)} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & h_L^{(i,j)} & \dots & h_0^{(i,j)} \end{pmatrix},$$

dans laquelle les éléments matriciels $h_k^{(i,j)}$ ($k = 0$ à L) représentent les coefficients de la réponse impulsionnelle (de longueur $L+1$) du premier canal de communication (i, j) entre T_i et SB_j ,

- 5 - $C_{N+L}^{(i',j)}$ représente la matrice complexe du premier canal de communication OFDM (i', j) (par exemple (2, 1)) entre le second équipement d'utilisateur émetteur $T_{i'}$ (T_2) et le premier équipement récepteur (ici la première station de base) SB_j (SB_1), et

- n représente le bruit.

- 10 $C_{N+L}^{(i,j)} X_{N+L}^{(i)}$ représente donc la première partie du signal reçu du premier équipement d'utilisateur T_i et que l'on veut démoduler en réception, tandis que $C_{N+L}^{(i',j)} X_{N+L}^{(i')}$ représente la seconde partie du signal reçu du second équipement d'utilisateur $T_{i'}$ qui vient interférer avec la première partie et dont l'invention vise à limiter, voire supprimer, les effets.

- 15 En présence d'un signal reçu $r_{SB_j}^D$ correspondant à la relation (1), un démodulateur DR commence par supprimer les D (avec $D=L$) premiers symboles (redundants) des première ($C_{N+L}^{(i,j)} X_{N+L}^{(i)}$) et seconde ($C_{N+L}^{(i',j)} X_{N+L}^{(i')}$) parties du signal reçu $r_{SB_j}^D$, ce qui donne le signal r_{SB_j} , puis il applique à ce dernier la matrice de transformée de Fourier rapide (ou FFT) F_N , ce qui donne
- 20 le signal de sortie suivant :

$$y_{SB_j} = F_N r_{SB_j} = F_N C_{N+L}^{(i,j)} X_{N+L}^{(i)} + F_N C_{N+L}^{(i',j)} X_{N+L}^{(i')} + F_N n.$$

On comprendra que si l'on veut supprimer l'influence des interférences issues du second équipement d'utilisateur $T_{i'}$, il faut que l'on ait

$$F_N C_{N+L}^{(i',j)} X_{N+L}^{(i')} = 0.$$

- 25 Pour ce faire, l'invention propose de mettre en œuvre un nouveau procédé de transmission comportant quatre étapes dans les modulateurs MR d'au moins les équipements d'utilisateur T_i .

Il est important de noter que ce procédé s'applique notamment :

- (A) lorsqu'un premier équipement d'utilisateur T_i (par exemple T_1) transmet à une première station de base SB_j un signal $X_{N+L}^{(i)}$ sur un premier canal OFDM (i, j) (par exemple $(1, 1)$) qui lui a été alloué, et que dans le même temps un second équipement d'utilisateur T_i' (par exemple T_2) veut transmettre à une seconde station de base SB_j' un signal $X_{N+L}^{(i')}$ sur un canal OFDM (i', j') (par exemple $(2, 2)$) appartenant à la même bande de fréquences que celle du premier canal OFDM, ou
- (B) lorsqu'un second équipement d'utilisateur T_i' (par exemple T_2) veut transmettre à une première station de base SB_j (par exemple SB_1) un signal $X_{N+L}^{(i')}$ sur un premier canal OFDM (i', j) qui a été alloué dans une bande de fréquences à un premier équipement d'utilisateur T_i (par exemple T_1) qui ne l'utilise pas.

Dans le cas (A), la bande de fréquences est donc utilisée, tandis que dans le cas (B) la bande de fréquences n'est pas utilisée. Ce cas (B) correspond à un réseau de type cognitif dans lequel on cherche à optimiser en temps réel l'utilisation des ressources disponibles, lorsqu'elles ont été préalablement allouées à des usagers qui ne les utilisent pas momentanément.

Une première étape principale du procédé selon l'invention consiste à déterminer un vecteur H de $L+1$ composantes h_k au moyen d'un module de traitement MT du modulateur MR d'un second équipement d'utilisateur T_i' qui veut transmettre des blocs de données s_N soit vers une seconde station de base SB_j' , soit vers une première station de base SB_j .

Ce vecteur H de composantes h_k représente la réponse impulsionnelle du premier canal de communication (i', j) (éventuellement alloué à un premier équipement d'utilisateur T_i) du second équipement d'utilisateur T_i' vers la première station de base SB_j . Ces composantes h_k sont donc les éléments matriciels $h_k^{(i', j)}$ de la matrice $C_{N+L}^{(i', j)} X_{N+L}^{(i')}$ ($k = 0$ à L).

Cette première étape principale est donc une phase dans laquelle le module de traitement MT du modulateur MR du second équipement d'utilisateur T_i' « estime » le premier canal (i', j) . Pour ce faire, il peut par exemple utiliser

les séquences d'apprentissage qui sont transmises par la première station de base SBj sur le premier canal à destination du premier équipement d'utilisateur Ti mais que son second équipement d'utilisateur Ti' reçoit également.

Une deuxième étape principale du procédé selon l'invention consiste à déterminer (toujours au moyen du module de traitement MT du modulateur MR du second équipement d'utilisateur Ti') L racines complexes a_m ($m = 1$ à L) d'un polynôme $S(z)$ choisi, qui est fonction des composantes h_k (ou $h_k^{(i',j)}$) du vecteur H déterminé lors de la première étape principale.

Ce polynôme $S(z)$ est par exemple défini par la relation $S(z) = \sum_{k=0}^L h_k * z^k$, dans laquelle les coefficients h_k sont les composantes du vecteur H.

Il est en effet rappelé qu'un polynôme de degré L comprend L racines complexes a_m ($m = 1$ à L). Par conséquent, déterminer les L racines complexes a_m ($m = 1$ à L) d'un polynôme $S(z)$, fonction des composantes h_k (ou $h_k^{(i',j)}$) du vecteur H, revient à déterminer les « zéros » de la matrice $C_{N+L}^{(i',j)}$ et donc les zéros du premier canal de communication (i', j) entre le second équipement d'utilisateur Ti' et la première station de base SBj.

Une troisième étape principale du procédé selon l'invention consiste à construire (toujours au moyen du module de traitement MT du modulateur MR du second équipement d'utilisateur Ti') une matrice dite de Vandermonde V à partir des L racines complexes a_m , déterminées lors de la deuxième étape principale.

Un exemple de matrice de Vandermonde V de dimension $(N+L) \times L$ (adaptée au cas où l'on transmet un signal $X_{N+L}^{(i')}$ résultant de l'adjonction d'un préfixe cyclique au signal $X_N^{(i')}$) est donné ci-dessous :

$$V = \begin{pmatrix} 1 & \dots & 1 \\ a_1 & \dots & a_2 \\ a_1^2 & \dots & a_2^2 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_1^{N+L-1} & \dots & a_2^{N+L-1} \end{pmatrix}.$$

Cette quatrième étape principale revient donc à construire L vecteurs

propres de longueur au moins égale à N pour le premier canal (i', j) (entre Ti' et SBj), chaque vecteur propre correspondant à une colonne d'une matrice de Vandermonde V construite à partir des L racines complexes a_m . On notera qu'en présence d'un signal $X_{N+L}^{(i')}$ résultant de l'adjonction d'un préfixe cyclique au signal $X_N^{(i')}$ les L vecteurs propres présentent une longueur N+L, tandis qu'en présence d'un signal $X_N^{(i')}$ dépourvu de préfixe cyclique les L vecteurs propres présentent une longueur N.

Il est important de noter que l'on entend ici par « matrice de Vandermonde » une matrice qui transmet des informations dans l'espace du noyau d'un canal (i', j) (entre un équipement émetteur Ti' et un équipement récepteur SBj), ce noyau étant constitué par l'ensemble des valeurs propres nulles de la matrice complexe $C_{N+L}^{(i',j)}$ représentant ledit canal (i', j). De ce fait le procédé selon l'invention peut être vu comme un mécanisme de formation de faisceau dans le domaine fréquentiel.

Une quatrième étape principale du procédé selon l'invention consiste à transmettre un signal S ($S = X_{N+L}^{(i')}$) qui résulte d'une combinaison d'un bloc de données s_N avec la matrice de Vandermonde V déterminée lors de la troisième étape principale. Cette combinaison est effectuée par le module de traitement MT du modulateur MR du second équipement d'utilisateur Ti'.

Par exemple, le signal S résulte de la combinaison suivante :

$$S = X_{N+L}^{(i')} = \alpha_v V S_L^{(i')}, \text{ où}$$

- α_v est un facteur de normalisation de la puissance, qui est par exemple

donné par la relation $\alpha_v = \sqrt{\frac{N+L}{\text{tr}(VV^H)}}$, dans laquelle « tr » est l'opérateur

trace et V^H est la matrice de Vandermonde Hermitienne, et

- $S_L^{(i')}$ est la matrice colonne de dimension L qui représente le bloc de données de longueur L que peut transmettre le second équipement d'utilisateur Ti' sur le premier canal (i', j). Il est en effet rappelé que le second équipement d'utilisateur Ti' ne peut transmettre qu'un nombre de symboles à combiner qui est au plus égal à la longueur L du premier canal (i', j) auxquels sont adjoints des symboles de redondance pour arriver à une

dimension égale à N+L.

Désormais, lorsque l'on se trouve dans le cas (A) précité, le démodulateur DR de la première station de base SBj reçoit toujours sur le premier canal un signal r_{SBj}^D qui est défini par la relation (1) précitée

$$5 \quad (r_{SBj}^D = C_{N+L}^{(i,j)} X_{N+L}^{(i)} + C_{N+L}^{(i',j)} X_{N+L}^{(i')} + n = C_{N+L}^{(i,j)} X_{N+L}^{(i)} + C_{N+L}^{(i',j)} S + n),$$

mais maintenant la seconde partie ($C_{N+L}^{(i,j)} X_{N+L}^{(i)}$) du signal reçu r_{SBj}^D n'interfère plus avec la première partie ($C_{N+L}^{(i',j)} X_{N+L}^{(i')} = C_{N+L}^{(i',j)} S$) de ce signal reçu r_{SBj}^D . En effet, si l'on

applique en réception la matrice de transformée de Fourier rapide (ou FTT) F_N , à cette seconde partie on obtient une valeur nulle ($F_N C_{N+L}^{(i',j)} X_{N+L}^{(i')} = 0$), si

$$10 \quad \text{bien que le signal de sortie } y_{SBj} \text{ qui est délivré par le démodulateur DR de la première station de base SBj est donné par la relation}$$

$$y_{SBj} = F_N r_{SBj} = F_N C_{N+L}^{(i,j)} X_{N+L}^{(i)} + F_N n.$$

Cela résulte du fait que le second équipement d'utilisateur Ti' transmet ses données de bloc dans les zéros du premier canal (i', j).

15 Comme indiqué ci-avant, le modulateur de Vandermonde agit donc, en quelque sorte, comme un élément de mise en forme de faisceau (« ou beamformer ») dans le domaine fréquentiel.

Le module de traitement MT d'un modulateur MR selon l'invention, d'un équipement d'utilisateur Ti' agissant en tant qu'équipement émetteur secondaire sur une bande de fréquences (éventuellement allouée à un autre équipement d'utilisateur (primaire) Ti qui ne l'utilise pas), est agencé pour effectuer sélectivement, en fonction d'informations relatives à l'utilisation d'une bande de fréquences (issues du réseau ou d'analyses (ou « sensing ») effectuées par l'équipement d'utilisateur Ti'), soit une modulation à base de transformée de Fourier rapide (ou FTT) inverse $F_N^H = F_N^{-1}$ (lorsque la bande de fréquences est libre), soit une modulation à base de matrice de Vandermonde V (lorsque la bande de fréquences est déjà utilisée).

On notera que le module de traitement MT d'un modulateur MR selon l'invention peut être réalisé sous la forme de circuits électroniques, de modules logiciels (ou informatiques), ou d'une combinaison de circuits

électroniques et de modules logiciels.

On notera également que, lorsque la bande de fréquences allouée à un premier équipement d'utilisateur (primaire) T_i est utilisée par ce dernier, le démodulateur DR de la première station de base SB_j effectue une démodulation à base de transformée de Fourier rapide (ou FTT) F_N et le démodulateur DR de la seconde station de base SB'_j effectue une démodulation à base de matrice de Vandermonde inverse V^{-1} , étant donné que le premier équipement d'utilisateur (primaire) T_i effectue une modulation à base de transformée de Fourier rapide inverse et le second équipement d'utilisateur (secondaire) T'_i effectue une modulation à base de matrice de Vandermonde. En revanche, lorsque la bande de fréquences allouée à un premier équipement d'utilisateur (primaire) T_i est libre (et donc lorsqu'un second équipement d'utilisateur (secondaire) T'_i transmet un signal $X_{N+L}^{(i)}$ sur un premier canal OFDM (i, j) qui a été alloué au premier équipement d'utilisateur T_i , avec l'autorisation du réseau), le démodulateur DR de la première station de base SB_j effectue une démodulation à base de transformée de Fourier rapide pour démoduler le signal issu du second équipement d'utilisateur T'_i du fait que ce dernier l'a classiquement modulé au moyen d'une transformée de Fourier rapide inverse.

On notera également qu'un démodulateur DR de station de base SB'_j connaît la matrice de Vandermonde inverse V^{-1} qu'il doit utiliser pour effectuer la démodulation d'un signal reçu (modulé avec une matrice de Vandermonde V) au moyen d'un processus d'apprentissage classique similaire à celui utilisé par un modulateur MR.

On notera également que l'invention peut être avantageusement (bien que non limitativement) utilisée dans le but de réduire les interférences inter-cellulaires dans les réseaux cellulaires.

L'invention ne se limite pas aux modes de réalisation de modulateur, démodulateur et procédé de transmission décrits ci-avant, seulement à titre d'exemple, mais elle englobe toutes les variantes que pourra envisager l'homme de l'art dans le cadre des revendications ci-après.

Ainsi, dans ce qui précède on a décrit un exemple de mise en œuvre de l'invention dans lequel on ne considèrerait au niveau d'un équipement

récepteur que les interférences issues d'un unique équipement émetteur. Mais, l'invention s'applique aux situations dans lesquelles plusieurs équipements émetteurs interfèrent au niveau d'un même équipement récepteur.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de transmission, dans un réseau de communication à multiplexage en fréquence, de blocs de données s_N de longueur N entre un équipement émetteur (T1) et un équipement récepteur (SB2) sur un canal de communication de réponse impulsionnelle de longueur L, ledit procédé comprenant les étapes consistant : i) à déterminer un vecteur H de L+1 composantes h_k ($k = 0$ à L) représentatif de la réponse impulsionnelle dudit canal de communication de l'équipement émetteur (T1) vers l'équipement récepteur (SB2), ii) à déterminer L racines complexes a_m ($m = 1$ à L) d'un polynôme $S(z)$ choisi fonction desdites composantes h_k dudit vecteur H, iii) à construire une matrice dite de Vandermonde à partir desdites L racines complexes a_m , et iv) à transmettre un signal S résultant d'une combinaison d'un bloc de données s_N avec ladite matrice de Vandermonde.

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel on adjoint audit bloc de données s_N , dans l'équipement émetteur (T1), un préfixe de longueur L avant de le combiner à une matrice de Vandermonde de dimension $(N+L)*L$.

3. Procédé selon l'une des revendications 1 et 2, dans lequel on détermine L racines complexes a_m ($j = 1$ à L) d'un polynôme $S(z)$ défini par la relation $S(z) = \sum_{k=0}^L h_k * z^k$, dans laquelle les h_k sont les composantes du vecteur H.

4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel on détermine au i) le vecteur H à partir de séquences d'apprentissage transmises par ledit équipement récepteur (SB2) sur ledit canal de communication.

5. Modulateur (MR) pour un équipement de communication (T1) propre à transmettre des blocs de données s_N de longueur N à un équipement récepteur (SB2) sur un canal de communication d'un réseau de communication à multiplexage en fréquence, ledit canal présentant une réponse impulsionnelle de longueur L, ledit modulateur (MR) comprenant des moyens de traitement (MT) agencés pour i) déterminer un vecteur H de L+1 composantes h_k ($k = 0$ à L) représentatif de la réponse impulsionnelle dudit canal de communication de l'équipement émetteur (T1) vers l'équipement

récepteur (SB2), ii) déterminer L racines complexes a_m ($m = 1$ à L) d'un polynôme $S(z)$ choisi fonction des dites composantes h_k dudit vecteur H, iii) construire une matrice dite de Vandermonde à partir des dites L racines complexes a_m , et iv) combiner un bloc de données s_N avec ladite matrice de Vandermonde de manière à délivrer un signal S propre à être transmis audit équipement récepteur (SB2).

6. Modulateur selon la revendication 5, dans lequel lesdits moyens de traitement (MT) sont agencés pour adjoindre au bloc de données s_N un préfixe de longueur L avant de le combiner à une matrice de Vandermonde de dimension $(N+L)*L$.

7. Modulateur selon l'une des revendications 5 et 6, dans lequel lesdits moyens de traitement (MT) sont agencés pour déterminer L racines complexes a_m ($j = 1$ à L) d'un polynôme $S(z)$ défini par la relation $S(z) = \sum_{k=0}^L h_k * z^k$, dans laquelle les h_k sont les composantes du vecteur H.

8. Modulateur selon l'une des revendications 5 à 7, dans lequel lesdits moyens de traitement (MT) sont agencés pour déterminer ledit vecteur H à partir de séquences d'apprentissage transmises par ledit équipement récepteur (SB2) sur ledit canal de communication.

9. Démodulateur (DR) pour un équipement de communication (SBj) propre à recevoir des blocs de données s_N d'au moins un équipement émetteur (Ti) sur au moins un canal de communication à réponse impulsionnelle d'un réseau de communication à multiplexage en fréquence, ledit démodulateur (DR) étant agencé, lorsqu'un premier équipement émetteur (T1) veut lui transmettre sur un canal des signaux représentatifs de blocs de données modulés avec une matrice de Vandermonde (V) correspondant audit canal entre ledit premier équipement (T1) et ledit équipement de communication (SBj), pour déterminer une matrice (V^{-1}) inverse de ladite matrice de Vandermonde (V), puis pour démoduler lesdits signaux transmis par ledit premier équipement (T1) avec ladite matrice de Vandermonde inverse (V^{-1}) de manière à récupérer lesdits blocs de données qu'ils représentent.

10. Utilisation des procédé de transmission, modulateur (MR) et

démodulateur (DR) selon l'une des revendications, dans le cas d'un réseau de communication à multiplexage en fréquence de type OFDM.

1/1

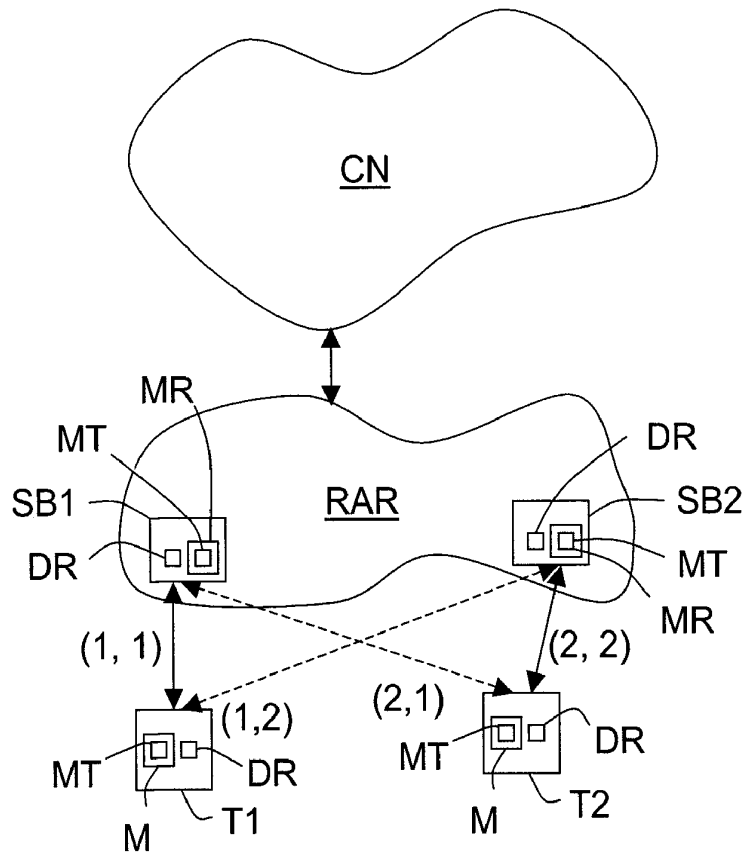


Figure unique



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

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

FA 703898
FR 0850645

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	US 2006/034383 A1 (SU WEIFENG [US] ET AL) 16 février 2006 (2006-02-16) * abrégé * * alinéas [0009] - [0011] * * alinéas [0030] - [0040] * * alinéa [0045] * * alinéas [0049] - [0053] * * alinéa [0061] * * alinéa [0073] * * alinéas [0082], [0083] * * alinéa [0087] * * alinéa [0102] * * alinéa [0105] * * alinéas [0130] - [0132] * * alinéas [0135] - [0137] * * figures 1-3 *	1-10	H04B1/707 H04J1/00
X	ZHENGDAO WANG ET AL: "Block Precoding for MUI/ISI-Resilient Generalized Multicarrier CDMA With Multirate Capabilities" IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, vol. 49, no. 11, 1 novembre 2001 (2001-11-01), pages 2016-2027, XP011010064 NJ, US ISSN: 0090-6778 * abrégé * Chapitres I-III * figures 1,2,4 *	1-10	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) H04L H04B
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
24 octobre 2008		Dhibi, Youssef	
<p>CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p>		<p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant</p>	

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14) 2



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

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

FA 703898
FR 0850645

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	ANNA SCAGLIONE ET AL: "Lagrange/Vandermonde MUI Eliminating User Codes for Quasi-Synchronous CDMA in Unknown Multipath" IEEE TRANSACTIONS ON SIGNAL PROCESSING, vol. 48, no. 7, 1 juillet 2000 (2000-07-01), pages 2057-2073, XP011059035 NY, US ISSN: 1053-587X * abrégé * Chapitres I-VII * figures 1,4,8(a),10 * -----	1-10	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
X	LIU Z ET AL: "LINEAR CONSTELLATION PRECODING FOR OFDM WITH MAXIMUM MULTIPATH DIVERSITY AND CODING GAINS" IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, vol. 51, no. 3, 1 mars 2003 (2003-03-01), pages 416-427, XP001163617 NJ, US ISSN: 0090-6778 * abrégé * Chapitres I-V -----	1-10	
X	ANNA SCAGLIONE ET AL: "Redundant Filterbank Precoders and Equalizers Part I: Unification and Optimal Designs" IEEE TRANSACTIONS ON SIGNAL PROCESSING, vol. 47, no. 7, 1 juillet 1999 (1999-07-01), pages 1988-2006, XP011058638 NY, US ISSN: 1053-587X * abrégé * Chapitres I-V ----- -/--	1-10	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
24 octobre 2008		Dhibi, Youssef	
<p>CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p>		<p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant</p>	

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14) 2



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

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

FA 703898
FR 0850645

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A	WO 2004/086792 A (ECOLE POLYTECH [CH]; MARAVIC IRENA [CH]; VETTERLI MARTIN [CH]; BUSINGE) 7 octobre 2004 (2004-10-07) * abrégé * * page 7, ligne 1 - page 14, ligne 18 * -----	1-10	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
24 octobre 2008		Dhibi, Youssef	
<p>CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p>		<p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant</p>	

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14) 2

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0850645 FA 703898**

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

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **24-10-2008**

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

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2006034383	A1	16-02-2006	AUCUN	

WO 2004086792	A	07-10-2004	AUCUN	
