

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

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
10 avril 2008 (10.04.2008)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2008/040716 A1

(51) Classification internationale des brevets :
H04L 1/06 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2007/060420

(22) Date de dépôt international :
2 octobre 2007 (02.10.2007)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
06 54060 3 octobre 2006 (03.10.2006) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : **COM-
MISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE** [FR/FR]; 25
rue Leblanc, Immeuble "Le Ponant D", F-75015 Paris (FR).

(72) Inventeur; et

(75) Inventeur/Déposant (pour US seulement) : **ABOU
RJEILY, Chadi** [LB/LB]; Chez Monsieur Issam ABOU
RJEILY, Mouallaka, Zahle (LB).

(74) Mandataire : **POULIN, Gérard**; Brevatome, 3, rue du
Docteur Lancereaux, F-75008 Paris (FR).

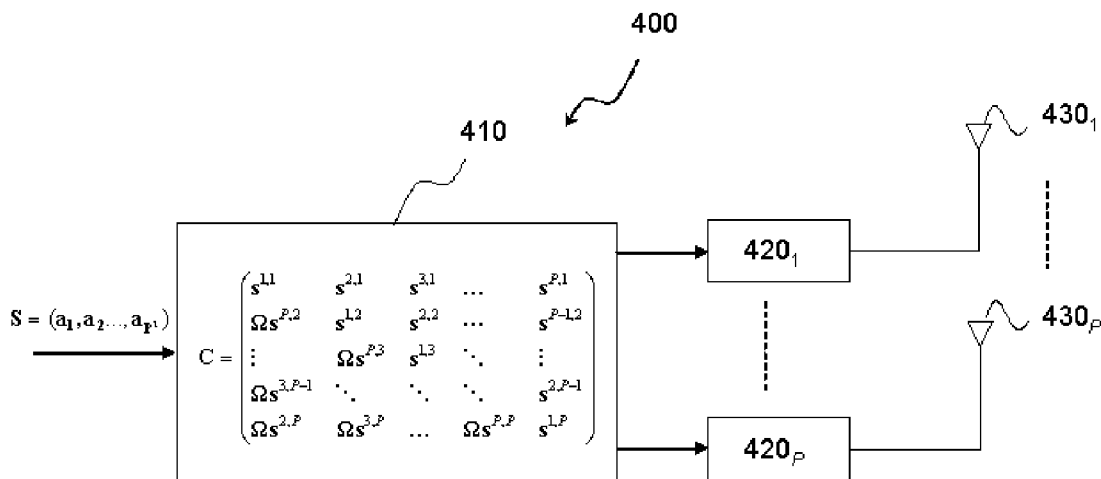
(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de
protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AT,
AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN,
CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES,
FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN,
IS, JP, KE, KG, KM, KN, 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, PG, PH, PL, PT, RO,
RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,
GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM,
ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM),
européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI,
FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: SPACE-TIME ENCODING METHOD FOR A MULTI-ANTENNA COMMUNICATION SYSTEM OF THE UWB
PULSE TYPE

(54) Titre : PROCÉDÉ DE CODAGE SPATIO-TEMPOREL POUR SYSTÈME DE COMMUNICATION MULTI-ANTENNE DE
TYPE UWB IMPULSIONNEL



(57) Abstract: The present invention relates to a space-time encoding method for a UWB transmission system comprising at least two radiating members. The method comprises encoding a block of information symbols $S = (a_1, a_2, \dots, a_{p2})$, belonging to a 2-PPM modulation or a 2-PPM-M'-PAM composite modulation alphabet where $M' \geq 2$, into a vector sequence $(s^{i,j}, \Omega s^{i,j})$, the components of a vector being used for modulating a UWB pulse signal for a radiating member of said system and for a given transmission interval (T_j) .

(57) Abrégé : La présente invention concerne un procédé de codage spatio-temporel pour système de transmission UWB comprenant au moins deux éléments radiatifs. Ce procédé code un bloc de symboles d'information $S = (a_1, a_2, \dots, a_{p2})$ appartenant à un alphabet de modulation 2-PPM ou de modulation composite 2-PPM-M'-PAM avec $M' \geq 2$, en une séquence de vecteurs $(s^{i,j}, \Omega s^{i,j})$ les composantes d'un vecteur étant destinées à moduler un signal UWB impulsionnel pour un élément radiatif dudit système et pour un intervalle de transmission donné (T_j) .

WO 2008/040716 A1



PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,
GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

— *avec rapport de recherche internationale*

**PROCÉDÉ DE CODAGE SPATIO-TEMPOREL POUR SYSTÈME DE
COMMUNICATION MULTI-ANTENNE DE TYPE UWB IMPULSIONNEL**

5

DESCRIPTION

DOMAINE TECHNIQUE

La présente invention concerne à la fois le domaine des télécommunications en ultra-large bande ou UWB (*Ultra Wide Band*) et celui des systèmes multi-
10 antenne à codage spatio-temporel ou STC (*Space Time Coding*).

ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

Les systèmes de télécommunication sans fil de type multi-antenne sont bien connus de l'état de la
15 technique. Ces systèmes utilisent une pluralité d'antennes à l'émission et/ou à la réception et sont dénommés, selon le type de configuration adoptée, MIMO (*Multiple Input Multiple Output*), MISO (*Multiple Input Single Output*) ou SIMO (*Single Input Multiple Output*).
20 Par la suite nous emploierons le même terme MIMO pour couvrir les variantes MIMO et MISO précitées. L'exploitation de la diversité spatiale à l'émission et/ou à la réception permet à ces systèmes d'offrir des capacités de canal nettement supérieures à celles des
25 systèmes mono-antenne classique (ou SISO pour *Single Input Single Output*). Cette diversité spatiale est généralement complétée par une diversité temporelle au moyen d'un codage spatio-temporel. Dans un tel codage, un symbole d'information à transmettre se trouve codé
30 sur plusieurs antennes et plusieurs instants de

transmission. On connaît deux grandes catégories de systèmes MIMO à codage spatio-temporel : les systèmes à codage en treillis ou STTC (*Space Time Trellis Coding*) et les systèmes à codage par blocs ou STBC (*Space Time Block Coding*). Dans un système à codage en treillis, le codeur spatio-temporel peut être vu comme une machine à états finis fournissant P symboles de transmission aux P antennes en fonction de l'état courant et du symbole d'information à coder. Le décodage à la réception est réalisé par un algorithme de Viterbi multidimensionnel dont la complexité augmente de manière exponentielle en fonction du nombre d'états. Dans un système à codage par blocs, un bloc de symboles d'information à transmettre est codé en une matrice de symboles de transmission, une dimension de la matrice correspondant au nombre d'antennes et l'autre correspondant aux instants consécutifs de transmission.

La Fig. 1 représente schématiquement un système de transmission MIMO 100 avec codage STBC. Un bloc de symboles d'information $\mathbf{S}=(a_1,...,a_b)$ par exemple un mot binaire de b bits ou plus généralement de b symboles M -aires est codé en une matrice spatio-temporelle :

$$\mathbf{C} = \begin{pmatrix} c_{1,1} & c_{1,2} & \dots & c_{1,P} \\ c_{2,1} & c_{2,2} & \dots & c_{2,P} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{T,1} & c_{T,2} & \dots & c_{T,P} \end{pmatrix} \quad (1)$$

25

où les coefficients $c_{t,p}$, $t=1,...,T; p=1,...,P$ du code sont en règle générale des coefficients complexes dépendant des symboles d'information, P est le nombre d'antennes

utilisées à l'émission, T est un entier indiquant l'extension temporelle du code, c'est-à-dire le nombre d'instants d'utilisation du canal ou PCUs (*Per Channel Use*).

5 La fonction f qui à tout vecteur $\mathbf{S}$ de symboles d'information fait correspondre le mot de code spatio-temporel $\mathbf{C}$ est appelée fonction de codage. Si la fonction f est linéaire on dit que le code spatio-temporel est linéaire. Si les coefficients $c_{t,p}$ sont
10 réels le code spatio-temporel est dit réel.

Sur la Fig. 1, on a désigné par 110 un codeur spatio-temporel. A chaque instant d'utilisation de canal t , le codeur fournit au multiplexeur 120 le t -ème vecteur-ligne de la matrice $\mathbf{C}$. Le multiplexeur
15 transmet aux modulateurs $130_1, \dots, 130_p$ les coefficients du vecteur ligne et les signaux modulés sont transmis par les antennes $140_1, \dots, 140_p$.

Le code spatio-temporel est caractérisé par son débit, c'est-à-dire par le nombre de symboles
20 d'information qu'il transmet par instant d'utilisation de canal (PCU). Le code est dit à plein débit s'il est P fois plus élevé que le débit relatif à une utilisation mono-antenne (SISO).

Le code spatio-temporel est caractérisé en outre
25 par sa diversité qui peut être définie comme le rang de la matrice $\mathbf{C}$. On aura une diversité maximale si pour deux mots de code $\mathbf{C}_1$ et $\mathbf{C}_2$ quelconques correspondant à deux vecteurs $\mathbf{S}_1$ et $\mathbf{S}_2$, la matrice $\mathbf{C}_1 - \mathbf{C}_2$ est de rang plein.

Le code spatio-temporel est enfin caractérisé par son gain de codage qui traduit la distance minimale entre différents mots du code. On peut le définir comme :

5

$$\min_{\mathbf{C}_1 \neq \mathbf{C}_2} \det((\mathbf{C}_1 - \mathbf{C}_2)^H (\mathbf{C}_1 - \mathbf{C}_2)) \quad (2)$$

ou, de manière équivalente, pour un code linéaire :

10

$$\min_{\mathbf{C} \neq 0} \det(\mathbf{C}^H \mathbf{C}) \quad (3)$$

où $\det(\mathbf{C})$ signifie le déterminant de $\mathbf{C}$ et $\mathbf{C}^H$ est la matrice conjuguée transposée de $\mathbf{C}$. Pour une énergie de transmission par symbole d'information, le gain de codage est borné.

En règle générale, le gain de codage n'est pas fixe mais décroît avec l'ordre de modulation d'information, ordre dont dépend l'efficacité spectrale. Dans certains cas, lorsque l'efficacité spectrale augmente, le gain de codage ne tend pas vers zéro mais vers une valeur asymptotique non nulle. Un tel code est dit à déterminant sans anéantissement.

On veille enfin à ce que l'énergie moyenne transmise par le système soit uniformément répartie entre antennes et instants de transmission.

On appelle code parfait un code à plein débit, à diversité maximale, à déterminant sans anéantissement et à énergie répartie au sens ci-dessus.

30

Un exemple de tel codage spatio-temporel pour un système MIMO à deux antennes de transmission a été proposé dans l'article de J-C Belfiore et al. intitulé « The Golden code : a 2x2 full-rate space-time code with non-vanishing determinants » publié dans IEEE Transactions on Information Theory, vol. 51, N° 4, pages 1432-1436, Avril 2005.

Le code proposé, dit code d'or, est basé sur une double extension algébrique $\mathbf{K}$ du corps des nombres rationnels $\mathbf{Q}$: $\mathbf{K}=\mathbf{Q}(i, \theta)$ où $i=\sqrt{-1}$ est racine du polynôme X^2+1 et θ est le nombre d'or $\theta=\frac{1+\sqrt{5}}{2}$, racine du polynôme X^2-X-1 . Le code d'or peut être représenté par la matrice suivante :

$$\mathbf{C}_{gold} = \begin{pmatrix} \alpha(a_1 + \theta a_2) & \alpha(a_3 + \theta a_4) \\ i\alpha_1(a_3 + \theta_1 a_4) & \alpha_1(a_1 + \theta_1 a_2) \end{pmatrix} \quad (4)$$

où $\mathbf{S}=(a_1, a_2, a_3, a_4)$ est un vecteur de symboles d'information. a_1, a_2, a_3, a_4 sont des symboles complexes d'une constellation 2^b -QAM, sous-ensemble de $\mathbf{Z}[i]$ où $\mathbf{Z}$ est l'anneau des entiers. $\theta_1=\frac{1+\sqrt{5}}{2}$ est la racine conjuguée de θ , $\alpha=1+i(1-\theta)$ et $\alpha_1=1+i(1-\theta_1)$.

On trouvera également des exemples de codes spatio-temporels parfaits pour un système MIMO à 2, 3, 4 ou 6 antennes de transmission dans l'article de Frédérique Oggier et al. intitulé «Perfect space time block codes» soumis à publication dans IEEE

Transactions on Information Theory et disponible sous le site www.comelec.enst.fr/~belfiore.

Un autre domaine des télécommunications fait
5 actuellement l'objet de recherches considérables. Il s'agit des systèmes de télécommunication UWB, pressentis notamment pour le développement des futurs réseaux personnels sans fil (WPAN). Ces systèmes ont pour spécificité de travailler directement en bande de
10 base avec des signaux très large bande. On entend généralement par signal UWB un signal conforme au masque spectral stipulé dans la réglementation du FCC du 14 Février 2002 et révisé en Mars 2005, c'est-à-dire pour l'essentiel un signal dans la bande spectrale 3.1
15 à 10.6 GHz et présentant une largeur de bande d'au moins 500 MHz à -10dB. En pratique, on connaît deux types de signaux UWB, les signaux multi-bande OFDM (MB-OFDM) et les signaux UWB de type impulsionnel. Nous nous intéresserons par la suite uniquement à ces
20 derniers.

Un signal UWB impulsionnel est constitué d'impulsions très courtes, typiquement de l'ordre de quelques centaines de picosecondes, réparties au sein d'une trame. Afin de réduire l'interférence multi-accès
25 (MAI pour *Multiple Access Interference*), un code de sauts temporels (TH pour *Time Hopping*) distinct est affecté à chaque utilisateur. Le signal issu ou à destination d'un utilisateur k peut alors s'écrire sous la forme:

$$s_k(t) = \sum_{n=0}^{N_s-1} w(t - nT_s - c_k(n)T_c) \quad (5)$$

où w est la forme de l'impulsion élémentaire, T_c est une durée bribe (ou chip), T_s est la durée d'un intervalle élémentaire avec $N_s = N_c T_c$ où N_c est le nombre de chips dans un intervalle, la trame totale étant de durée $T_f = N_s T_s$ où N_s est le nombre d'intervalles dans la trame. La durée de l'impulsion élémentaire est choisie inférieure à la durée chip, soit $T_w \leq T_c$. La séquence $c_k(n)$ pour $n=0, \dots, N_s-1$ définit le code de saut temporel de l'utilisateur k . Les séquences de sauts temporels sont choisies de manière à minimiser le nombre de collisions entre impulsions appartenant à des séquences de saut temporel d'utilisateurs différents.

On a représenté en Fig. 2A un signal TH-UWB associé à un utilisateur k . Afin de transmettre un symbole d'information donné en provenance ou à destination d'un utilisateur k , on module généralement le signal TH-UWB à l'aide d'une modulation de position (PPM pour *Pulse Position Modulation*), soit pour le signal modulé :

$$s_k(t) = \sum_{n=0}^{N_s-1} w(t - nT_s - c_k(n)T_c - d_k \varepsilon) \quad (6)$$

où ε est un retard de modulation (*dither*) sensiblement inférieur à la durée chip T_c et $d_k \in \{0, \dots, M-1\}$ est la position M -aire PPM du symbole.

Alternativement, les symboles d'information peuvent être transmis au moyen d'une modulation d'amplitude (PAM). Dans ce cas, le signal modulé peut s'écrire :

5

$$s_k(t) = \sum_{n=0}^{N_s-1} a^{(k)} \cdot w(t - nT_s - c_k(n)T_c) \quad (7)$$

où $a^{(k)} = 2m' - 1 - M'$ avec $m' = 1, \dots, M'$, est le symbole M' -aire de la modulation PAM. On peut par exemple utiliser une modulation BPSK ($M' = 2$).

10

Les modulations PPM et PAM peuvent aussi être combinées en une modulation composite $M.M'$ -aire, notée conventionnellement M -PPM- M' -PAM. Le signal modulé a alors la forme générale suivante :

15

$$s_k(t) = \sum_{n=0}^{N_s-1} \sum_{m=0}^{M-1} a_m^{(k)} \cdot w(t - nT_s - c_k(n)T_c - m\varepsilon) \quad (8)$$

L'alphabet de cette modulation de cardinal $M.M'$ a été représenté en Fig. 3. Pour chacune des M positions temporelles, M' amplitudes de modulation sont possibles. Un symbole (d, a) de l'alphabet peut être représenté par une séquence a_m , $m = 0, \dots, M-1$ avec $a_m = \delta(m-d)a$ où d est une position de la modulation PPM, a une amplitude de la modulation PAM et $\delta(.)$ la distribution de Dirac.

25

Au lieu de séparer les différents utilisateurs au moyen de codes de sauts temporels, il est également

possible de les séparer par des codes orthogonaux, par exemple des codes de Hadamard, comme en DS-CDMA. On parle alors de DS-UWB (*Direct Spread UWB*). Dans ce cas on a pour l'expression du signal non modulé,
 5 correspondant à (5) :

$$s_k(t) = \sum_{n=0}^{N_s-1} b_n^{(k)} w(t - nT_s) \quad (9)$$

où $b_n^{(k)}$, $n=0, \dots, N_s-1$ est la séquence d'étalement de
 10 l'utilisateur k . On remarque que l'expression (9) est analogue à celle d'un signal DS-CDMA classique. Elle en diffère cependant par le fait que les chips sont n'occupent pas toute la trame mais sont répartis à la période T_s . On a représenté en Fig. 2B un signal DS-UWB
 15 associé à un utilisateur k .

Comme précédemment, les symboles d'information peuvent être transmis au moyen d'une modulation PPM, d'une modulation PAM ou d'une modulation composite M -PPM- M' -PAM. Le signal DS-UWB modulé en amplitude
 20 correspondant au signal TH-UWB (7) peut s'exprimer, en conservant les mêmes notations :

$$s_k(t) = \sum_{n=0}^{N_s-1} a^{(k)} b_n^{(k)} . w(t - nT_s) \quad (10)$$

25 Enfin, il est connu de combiner codes de sauts temporels et codes d'étalement spectral pour offrir des accès multiples aux différents utilisateurs. On obtient ainsi un signal UWB impulsionnel TH-DS-UWB de forme générale :

$$s_k(t) = \sum_{n=0}^{N_s-1} b_n^{(k)} \cdot w(t - nT_s - c_k(n)T_c) \quad (11)$$

On a représenté en Fig. 2C un signal TH-DS-UWB associé à un utilisateur k . Ce signal peut être modulé par une modulation composite M -PPM- M' PAM. On obtient alors pour le signal modulé :

$$s_k(t) = \sum_{n=0}^{N_s-1} \sum_{m=0}^{M-1} a_m^{(k)} b_n^{(k)} \cdot w(t - nT_s - c_k(n)T_c - m\varepsilon) \quad (12)$$

10

Il est connu de l'état de la technique d'utiliser des signaux UWB dans des systèmes MIMO. Dans ce cas, chaque antenne transmet un signal UWB modulé en fonction d'un symbole d'information ou d'un bloc de tels symboles (STBC).

Les techniques de codage spatio-temporel initialement développées pour des signaux à bande étroites ou pour le DS-CDMA s'appliquent mal aux signaux UWB impulsionnels. En effet, les codes spatio-temporels connus, comme le code d'or sont généralement à coefficients complexes et portent par conséquent une information de phase. Or, il est excessivement difficile de récupérer cette information de phase dans un signal à bande aussi large que celle des signaux UWB impulsionnels. Le support temporel très étroit des impulsions se prête beaucoup mieux à une modulation en position (PPM) ou en amplitude (PAM).

Un codage spatio-temporel des signaux UWB a été proposé dans l'article de Chadi Abou-Rjeily et al.

intitulé « Space-Time coding for multiuser Ultra-Wideband communications » soumis à publication dans IEEE Transactions on Communications, Sept. 2005 et disponible sous www.tsi.enst.fr .

5 Conformément aux contraintes posées plus haut, le code spatio-temporel proposé est réel. Par exemple, pour une configuration à deux antennes en émission, le code peut s'écrire :

$$10 \quad \mathbf{C} = \begin{pmatrix} \beta(a_1 + \theta a_2) & \sqrt{2}\beta(a_3 + \theta a_4) \\ \sqrt{2}\beta_1(a_3 + \theta_1 a_4) & \beta_1(a_1 + \theta_1 a_2) \end{pmatrix} \quad (13)$$

avec $\beta = \frac{1}{\sqrt{1+\theta^2}}$ et $\beta_1 = \frac{1}{\sqrt{1+\theta_1^2}}$; $\mathbf{S} = (a_1, a_2, a_3, a_4)$ est un vecteur de symboles d'information PAM, à savoir $a_i \in \{-M'+1, \dots, M'-1\}$.

15 Dans ce même article, on propose de généraliser ce code spatio-temporel au codage d'un bloc de symboles d'information appartenant à un alphabet PPM-PAM. Pour une configuration à deux antennes d'émission, ce code peut s'exprimer par la matrice de taille $2M \times 2$:

20

$$\mathbf{C} = \begin{pmatrix} \beta(a_{1,0} + \theta a_{2,0}) & \sqrt{2}\beta(a_{3,0} + \theta a_{4,0}) \\ \vdots & \vdots \\ \beta(a_{1,M-1} + \theta a_{2,M-1}) & \sqrt{2}\beta(a_{3,M-1} + \theta a_{4,M-1}) \\ \sqrt{2}\beta_1(a_{3,0} + \theta_1 a_{4,0}) & \beta_1(a_{1,0} + \theta_1 a_{2,0}) \\ \vdots & \vdots \\ \sqrt{2}\beta_1(a_{3,M-1} + \theta_1 a_{4,M-1}) & \beta_1(a_{1,M-1} + \theta_1 a_{2,M-1}) \end{pmatrix} \quad (14)$$

Chaque symbole d'information $\mathbf{a}_i = (a_{i,0}, \dots, a_{i,M-1})$ est ici un vecteur représentant un élément de l'alphabet M -PPM- M' -PAM avec $a_{i,m} = a_i \delta(m - d_i)$ où a_i est un élément de l'alphabet M -PAM et d_i de l'alphabet M' -PPM. Le bloc de symboles d'information codés par le code $\mathbf{C}$ n'est autre que $\mathbf{S} = (\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \mathbf{a}_3, \mathbf{a}_4)$.

Plus précisément, le bloc de symboles d'information $\mathbf{S}$ donne lieu à la génération des signaux UWB selon les expressions données ci-après. On a supposé, pour simplifier les notations, une utilisation mono utilisateur (pas d'indexation par k , ni de séquence d'étalement).

L'antenne 1 transmet pendant la durée de la première trame T_f le signal :

$$s^1(t) = \beta \sum_{n=0}^{N_s-1} \sum_{m=0}^{M-1} (a_{1,m} + \theta a_{2,m}) w(t - nT_s - c(n)T_c - m\varepsilon) \quad (15)$$

signal, qui correspond au premier vecteur colonne des M premières lignes du code (14).

L'antenne 2 transmet simultanément pendant la durée de la première trame T_f le signal :

$$s^2(t) = \beta \sqrt{2} \sum_{n=0}^{N_s-1} \sum_{m=0}^{M-1} (a_{3,m} + \theta a_{4,m}) w(t - nT_s - c(n)T_c - m\varepsilon) \quad (16)$$

signal qui correspond au second vecteur colonne des M premières lignes du code.

L'antenne 1 transmet ensuite pendant la durée de la seconde trame, en prenant à nouveau l'origine des temps au début de la trame :

$$s^1(t) = \beta_1 \sqrt{2} \sum_{n=0}^{N_s-1} \sum_{m=0}^{M-1} (a_{3,m} + \theta a_{4,m}) w(t - nT_s - c(n)T_c - m\varepsilon) \quad (17)$$

signal qui correspond au premier vecteur colonne des M dernières lignes du code.

Enfin l'antenne 2 transmet simultanément pendant la durée de la seconde trame le signal:

$$s^2(t) = \beta_1 \sum_{n=0}^{N_s-1} \sum_{m=0}^{M-1} (a_{1,m} + \theta a_{2,m}) w(t - nT_s - c(n)T_c - m\varepsilon) \quad (18)$$

signal qui correspond au second vecteur colonne des M dernières lignes du code.

Le code spatio-temporel défini ci-dessus présente de très bonnes performances en terme de diversité. Toutefois son gain de codage est inférieur à celui du code d'or défini par (4). En outre, le terme scalaire $\sqrt{2}$ apparaissant dans la matrice (14) crée, à chaque trame, un déséquilibre énergétique entre les antennes.

Un but de la présente invention est de proposer un code spatio-temporel réel pour un système MIMO à signaux UWB impulsionnels qui possède un gain de codage supérieur au code spatio-temporel réel précité. Un autre but de la présente invention est de prévoir un code spatio-temporel réel pouvant s'appliquer à un système MIMO avec un nombre quelconque d'antennes. Enfin, un autre but de la présente invention est de

proposer un code spatio-temporel présentant à chaque trame une distribution d'énergie uniforme sur les différentes antennes.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

5 La présente invention est définie par un procédé de codage spatio-temporel pour système de transmission UWB comprenant au moins deux éléments radiatifs, ledit procédé codant un bloc de symboles d'information ($\mathbf{S}=(\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \dots, \mathbf{a}_{p_2})$) appartenant à un alphabet
 10 de modulation 2-PPM ou de modulation composite 2-PPM-M'-PAM avec $M' \geq 2$, en une séquence de vecteurs ($\mathbf{s}^{i,j}, \mathbf{\Omega s}^{i,j}$) les composantes d'un vecteur étant destinées à moduler un signal UWB impulsif pour un élément radiatif dudit système et pour un intervalle de transmission
 15 donné (T_f). Lesdits vecteurs sont définis comme les éléments de la matrice :

$$\mathbf{C} = \begin{pmatrix} \mathbf{s}^{1,1} & \mathbf{s}^{2,1} & \mathbf{s}^{3,1} & \dots & \mathbf{s}^{P,1} \\ \mathbf{\Omega s}^{P,2} & \mathbf{s}^{1,2} & \mathbf{s}^{2,2} & \dots & \mathbf{s}^{P-1,2} \\ \vdots & \mathbf{\Omega s}^{P,3} & \mathbf{s}^{1,3} & \ddots & \vdots \\ \mathbf{\Omega s}^{3,P-1} & \ddots & \ddots & \ddots & \mathbf{s}^{2,P-1} \\ \mathbf{\Omega s}^{2,P} & \mathbf{\Omega s}^{3,P} & \dots & \mathbf{\Omega s}^{P,P} & \mathbf{s}^{1,P} \end{pmatrix}$$

définie à une permutation près de ses lignes et/ou ses
 20 colonnes, une ligne correspondant à un intervalle de transmission et une colonne à un élément radiatif, où $\mathbf{\Omega}$ est une matrice de rotation de $\pm\pi/2$, P est le nombre d'éléments radiatifs et

$$\mathbf{s}^{i,j} = (\mathbf{R}_j \otimes \mathbf{I}_2) \begin{pmatrix} \mathbf{a}_{(i-1)P+1} \\ \mathbf{a}_{(i-1)P+P} \\ \vdots \\ \mathbf{a}_{iP} \end{pmatrix} \quad \text{à une marge de } \pm 10\% \text{ près, où } \mathbf{I}_2 \text{ est}$$

la matrice identité de taille 2×2 , $\otimes$ est le produit tensoriel, $\mathbf{a}_\ell$, $\ell = 1, \dots, P^2$ sont les symboles d'information, $\mathbf{R}_j$ est un vecteur ligne de dimension P correspondant à la $j^{\text{ième}}$ ligne d'une matrice orthogonale $\mathbf{R}$ générant le

$$\text{réseau de points } \Lambda = \{\mathbf{u}\mathbf{\Theta} \mid \mathbf{u} \in \mathbf{Z}^P\} \quad \text{avec } \mathbf{\Theta} = \begin{pmatrix} 1 & \theta_0 & \dots & \theta_0^{P-1} \\ 1 & \theta_1 & \dots & \theta_1^{P-1} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 1 & \theta_{P-1} & \dots & \theta_{P-1}^{P-1} \end{pmatrix} \quad \text{où}$$

θ_p , $p = 0, \dots, P-1$ P racines réelles distinctes d'un polynôme de degré P à coefficients rationnels.

Selon une variante, la matrice orthogonale s'exprime sous la forme $\mathbf{R} = \mathbf{\Theta}\mathbf{V}$ où $\mathbf{V}$ est une matrice dont les colonnes sont constituées par des vecteurs $\mathbf{v}^{(p)} = (v_0^{(p)}, v_1^{(p)}, \dots, v_{P-1}^{(p)})^T$ $p = 0, \dots, P-1$ dont les coefficients sont rationnels.

La présente invention concerne également un procédé de transmission d'une pluralité de symboles d'information appartenant à un alphabet de modulation 2-PPM ou de modulation composite 2-PPM-M'-PAM avec $M' \geq 2$. Selon ce procédé de transmission, lesdits symboles d'information sont codés au moyen du codage spatio-temporel défini ci-dessus pour fournir P^2 vecteurs de dimension 2, éléments de ladite matrice $\mathbf{C}$, les composantes de chacun de ces vecteurs modulant la position ou bien la position et l'amplitude des impulsions composant un signal UWB impulsional pour

obtenir P^2 signaux UWB impulsionnels modulés correspondants, les signaux étant respectivement transmis par les P éléments radiatifs pendant P intervalles de transmission.

5 Les éléments radiatifs peuvent être des antennes UWB, des diodes laser ou des diodes électroluminescentes.

Le signal impulsionnel sera avantageusement un signal TH-UWB, un signal DS-UWB ou encore un signal
10 TH-DS-UWB.

BREVE DESCRIPTION DES DESSINS

D'autres caractéristiques et avantages de
15 l'invention apparaîtront à la lecture d'un mode de réalisation préférentiel de l'invention fait en référence aux figures jointes parmi lesquelles :

la Fig. 1 représente schématiquement un système de transmission MIMO avec codage STBC connu de
20 l'état de la technique ;

les Fig. 2A à 2C représentent les formes respectives de signaux TH-UWB, DS-UWB et TH-DS-UWB ;

la Fig. 3 représente un exemple de constellation d'une modulation PPM-PAM ;

25 la Fig. 4 représente schématiquement un système de transmission MIMO utilisant le codage spatio-temporel selon l'invention.

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

L'idée à la base de l'invention est de créer un code spatio-temporel s'affranchissant à la fois des valeurs complexes α et α_1 figurant dans le code d'or (4), incompatibles comme on l'a dit avec l'utilisation de signaux UWB impulsionnels, et des scalaires $\sqrt{2}$ figurant dans les codes (13) et (14), à l'origine d'une distribution déséquilibrée de l'énergie sur les antennes.

Le code spatio-temporel proposé s'applique aux systèmes MIMO avec un nombre quelconque P d'antennes de transmission utilisant des signaux UWB impulsionnels dans lesquels les symboles d'information sont des éléments :

- d'une modulation 2-PPM- M' -PAM pour un système MIMO bi-antenne ($P=2$) avec $M' \geq 1$;
- d'une modulation 2-PPM pour un système MIMO à plus de deux antennes de transmission ($P > 2$).

Le code proposé est représenté par la matrice de dimension $2P \times P$:

$$\mathbf{C} = \begin{pmatrix} \mathbf{s}^{1,1} & \mathbf{s}^{2,1} & \mathbf{s}^{3,1} & \dots & \mathbf{s}^{P,1} \\ \mathbf{\Omega s}^{P,2} & \mathbf{s}^{1,2} & \mathbf{s}^{2,2} & \dots & \mathbf{s}^{P-1,2} \\ \vdots & \mathbf{\Omega s}^{P,3} & \mathbf{s}^{1,3} & \ddots & \vdots \\ \mathbf{\Omega s}^{3,P-1} & \ddots & \ddots & \ddots & \mathbf{s}^{2,P-1} \\ \mathbf{\Omega s}^{2,P} & \mathbf{\Omega s}^{3,P} & \dots & \mathbf{\Omega s}^{P,P} & \mathbf{s}^{1,P} \end{pmatrix} \quad (19)$$

où les termes $\mathbf{s}^{i,j}$, $i=1,..,P$, $j=1,..,P$ sont des vecteurs de dimension 2 dont les composantes seront précisées plus loin et $\mathbf{\Omega}$ est une matrice de rotation de $\pm\pi/2$, c'est-à-dire :

5

$$\mathbf{\Omega} = \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \text{ ou } \mathbf{\Omega} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix} \quad (20)$$

Les vecteurs $\mathbf{s}^{i,j}$ sont obtenus de la manière suivante :

10

$$\mathbf{s}^{i,j} = (\mathbf{R}_j \otimes \mathbf{I}_2) \begin{pmatrix} \mathbf{a}_{(i-1)P+1} \\ \mathbf{a}_{(i-1)P+P} \\ \vdots \\ \mathbf{a}_{iP} \end{pmatrix} \quad (21)$$

où $\mathbf{I}_2$ est la matrice identité de taille 2x2, $\otimes$ est le produit tensoriel (ou de Kronecker) et les termes $\mathbf{a}_\ell$, $\ell=1,..,P^2$ sont des vecteurs de dimension 2 représentant les P^2 symboles d'information à coder. On rappelle que ces symboles sont des éléments d'une constellation de modulation 2-PPM- M' -PAM ou 2-PPM, selon que $P=2$ ou $P>2$, c'est-à-dire $\mathbf{a}_\ell = \begin{pmatrix} a_{0,\ell} \\ a_{1,\ell} \end{pmatrix}$ où l'un des termes $a_{0,\ell}$ et $a_{1,\ell}$ est égal à 0 et l'autre est un symbole de modulation M' -PPM dans le premier cas, et égal à 1 dans le second cas. $\mathbf{R}_j$ est le vecteur ligne de taille $1 \times P$ correspondant à la $j^{\text{ième}}$ ligne de la matrice $\mathbf{R}$ suivante :

$$\mathbf{R} = \begin{pmatrix} \sum_{p=0}^{P-1} \nu_p^{(0)} \theta_0^p & \sum_{p=0}^{P-1} \nu_p^{(1)} \theta_0^p & \cdots & \sum_{p=0}^{P-1} \nu_p^{(P-1)} \theta_0^p \\ \sum_{p=0}^{P-1} \nu_p^{(0)} \theta_1^p & \sum_{p=0}^{P-1} \nu_p^{(1)} \theta_1^p & \cdots & \sum_{p=0}^{P-1} \nu_p^{(P-1)} \theta_1^p \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum_{p=0}^{P-1} \nu_p^{(0)} \theta_{P-1}^p & \sum_{p=0}^{P-1} \nu_p^{(1)} \theta_{P-1}^p & \cdots & \sum_{p=0}^{P-1} \nu_p^{(P-1)} \theta_{P-1}^p \end{pmatrix} \quad (22)$$

5 où les termes $\nu_p^{(q)}$ pour $p=0,..,P-1$ et $q=0,..,P-1$ sont des nombres rationnels, les termes θ_p , $p=0,..,P-1$ sont des nombres réels distincts, racines d'un polynôme $f(X)$ de degré P à coefficients rationnels, que l'on peut choisir unitaire, soit:

10

$$f(X) = \sum_{k=0}^P f_k X^k \quad (23)$$

où $f_k \in \mathbf{Q}$, $k=0,..,P-1$ et $f_P=1$.

La matrice $\mathbf{R}$ est choisie orthogonale, c'est-à-dire
 15 $\mathbf{R}\mathbf{R}^T = \mathbf{I}_P$ où $\mathbf{I}_P$ est la matrice unité de taille $P \times P$.

On remarque que $\mathbf{R} = \mathbf{\Theta}\mathbf{V}$ où $\mathbf{\Theta}$ est la matrice de Vandermonde :

$$\mathbf{\Theta} = \begin{pmatrix} 1 & \theta_0 & \cdots & \theta_0^{P-1} \\ 1 & \theta_1 & \cdots & \theta_1^{P-1} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ 1 & \theta_{P-1} & \cdots & \theta_{P-1}^{P-1} \end{pmatrix} \quad (24)$$

20

et $\mathbf{V}$ est la matrice dont les colonnes sont constituées des vecteurs $\mathbf{v}^{(p)} = (v_0^{(p)}, v_1^{(p)}, \dots, v_{P-1}^{(p)})^T$.

Si l'on considère le réseau de points $\Lambda = \mathcal{L}(\Theta)$ de dimension P engendré par la base constituée des vecteurs colonne de Θ , c'est-à-dire : $\Lambda = \{\mathbf{u}\Theta \mid \mathbf{u} \in \mathbf{Z}^P\}$, la détermination de la matrice $\mathbf{R}$ revient à la recherche d'une base orthogonale de Λ . Celle-ci peut être obtenue par exemple au moyen de l'algorithme de Lenstra-Lovász-Lenstra, dit aussi LLL, dont on trouvera une description dans l'article de A.K. Lenstra *et al.* intitulé « Factoring polynomials with rational coefficients » publié en 1982 dans Math. Ann. vol. 261, pages 515-534. On trouvera des exemples de matrices de rotation $\mathbf{R}$ dans l'article d'E. Bayer-Fluckiger *et al.* intitulé « New algebraic constructions of rotated $\mathbf{Z}^n$ -lattice constellations for the Rayleigh fading channel » publié dans IEEE Transactions on Information Theory, vol. 50, N° 4, 2004, pages 702-714.

Comme on peut le constater dans l'expression (22), la matrice $\mathbf{R}$ est réelle et par conséquent la matrice du code spatio-temporel $\mathbf{C}$ définie en (19) l'est aussi. De même, étant donné la nature orthogonale de la matrice $\mathbf{R}$, la répartition d'énergie du code spatio-temporel sur les différentes antennes est uniforme. En outre, le code spatio-temporel $\mathbf{C}$ permet de coder P^2 symboles d'information en utilisant P antennes et P utilisations du canal (PCU). Il est donc à débit maximal.

On peut montrer que le code est à diversité maximale $\forall P \geq 2$.

Enfin, on peut également montrer que pour un système MIMO bi-antenne ($P=2$), il présente le même gain de codage que les codes parfaits, pour les modulations 2-PPM et 2-PPM- M' -PAM avec $M'=2,4,8$, et que
 5 pour un système MIMO à plus de deux antennes ($P>2$) il présente le même gain de codage que les codes parfaits pour une modulation 2-PPM.

Il est important de noter qu'une permutation des lignes et/ou des colonnes de la matrice $\mathbf{C}$ n'affecte
 10 pas les propriétés du code spatio-temporel. En effet, une permutation de colonnes revient à une simple permutation des antennes et une permutation de lignes (on entend ici par ligne, une ligne de vecteurs de dimension 2) à une simple permutation des instants
 15 d'utilisation du canal.

En pratique, les éléments de la matrice $\mathbf{C}$ sont quantifiés sous forme numérique. On a pu toutefois constater qu'une erreur de quantification de moins de 10% par excès ou par défaut n'affectait pas
 20 sensiblement les performances du code.

La Fig. 4 illustre un exemple de système de transmission utilisant le codage spatio-temporel selon l'invention.

Le système 400 reçoit des symboles d'informations
 25 par bloc $\mathbf{S}=(\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \dots, \mathbf{a}_{P^2})$ où les symboles $\mathbf{a}_\ell$, $\ell=1, \dots, P^2$ sont des vecteurs de dimension 2 représentant des éléments d'une constellation de modulation 2-PPM ou 2-PPM- M' -PAM. Alternativement, les symboles d'information peuvent provenir d'une constellation 2. M' -aire à
 30 condition de subir préalablement un transcodage (*mapping*) dans une constellation 2-PPM- M' -PAM. Bien

entendu, les symboles d'information peuvent être issus d'une ou plusieurs opérations bien connues de l'homme du métier telles que codage source, codage canal de type convolutionnel, par bloc ou bien encore
5 turbocodage série ou parallèle, entrelacement, etc.

Le bloc de symboles d'information subit une opération de codage dans le codeur spatio-temporel 410. Plus précisément, le module 410 calcule les termes de la matrice $\mathbf{C}$ selon (19) ou l'une des variantes
10 précitées.

Les P vecteurs colonnes constituant la première ligne de $\mathbf{C}$ sont d'abord transmis respectivement aux modulateurs UWB $420_1, \dots, 420_P$ pour la première trame, puis les P vecteurs colonnes constituant la seconde ligne, pour la seconde trame et ainsi de suite jusqu'à la
15 transmission des P vecteurs colonnes de la dernière ligne de $\mathbf{C}$, pour la $P^{\text{ième}}$ trame.

Chaque vecteur colonne possède deux composantes correspondant aux deux positions de la modulation PPM.
20 Les modulateurs UWB $420_1, \dots, 420_P$ génèrent, à partir des vecteurs colonnes qu'ils reçoivent, les signaux UWB impulsionnels modulés correspondants. De manière générale, les signaux UWB impulsionnels servant de support à la modulation peuvent être du type TH-UWB, DS-UWB ou TH-DS-UWB. Par exemple, pour un modulateur
25 UWB 420_P , de type TH-UWB, associé à la $p^{\text{ième}}$ colonne de la matrice, le signal UWB impulsionnel modulé pour le premier intervalle de transmission sera (cf. équation 8):

$$s^p(t) = \sum_{n=0}^{N_s-1} s_0^{p,1} w(t - nT_s - c(n)T_c) + s_1^{p,1} w(t - nT_s - c(n)T_c - \varepsilon) \quad (25)$$

où $s_0^{p,1}$ et $s_1^{p,1}$ sont les composantes PAM du vecteur $\mathbf{s}^{p,1}$.

Les signaux UWB impulsionnels ainsi modulés sont
 5 transmis ensuite aux éléments radiatifs 430_1 à 430_P . Ces
 éléments radiatifs peuvent être des antennes UWB ou
 bien des diodes laser ou des DELs, fonctionnant par
 exemple dans le domaine infrarouge, associées à des
 modulateurs électro-optiques. Le système de
 10 transmission proposé peut alors être utilisé dans le
 domaine des télécommunications optiques sans fil.

Les signaux UWB transmis par le système illustré en
 Fig. 4 peuvent être traités par un récepteur multi-
 antenne de manière classique. Le récepteur pourra par
 15 exemple comprendre un étage de corrélation de type Rake
 suivi d'un étage de décision, utilisant par exemple un
 décodeur par sphère connu de l'homme du métier.

REVENDICATIONS

1. Procédé de codage spatio-temporel pour système de transmission UWB comprenant au moins deux éléments radiatifs, ledit procédé codant un bloc de symboles d'information ($\mathbf{S}=(\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \dots, \mathbf{a}_P)$) appartenant à un alphabet de modulation 2-PPM ou de modulation composite 2-PPM-M'-PAM avec $M' \geq 2$, en une séquence de vecteurs ($\mathbf{s}^{i,j}, \mathbf{\Omega s}^{i,j}$) les composantes d'un vecteur étant destinées à moduler un signal UWB impulsif pour un élément radiatif dudit système et pour un intervalle de transmission donné (T_f), caractérisé en ce que lesdits vecteurs sont définis comme les éléments de la matrice :

$$\mathbf{C} = \begin{pmatrix} \mathbf{s}^{1,1} & \mathbf{s}^{2,1} & \mathbf{s}^{3,1} & \dots & \mathbf{s}^{P,1} \\ \mathbf{\Omega s}^{P,2} & \mathbf{s}^{1,2} & \mathbf{s}^{2,2} & \dots & \mathbf{s}^{P-1,2} \\ \vdots & \mathbf{\Omega s}^{P,3} & \mathbf{s}^{1,3} & \ddots & \vdots \\ \mathbf{\Omega s}^{3,P-1} & \ddots & \ddots & \ddots & \mathbf{s}^{2,P-1} \\ \mathbf{\Omega s}^{2,P} & \mathbf{\Omega s}^{3,P} & \dots & \mathbf{\Omega s}^{P,P} & \mathbf{s}^{1,P} \end{pmatrix}$$

définie à une permutation près de ses lignes et/ou ses colonnes, une ligne correspondant à un intervalle de transmission et une colonne à un élément radiatif, où $\mathbf{\Omega}$ est une matrice de rotation de $\pm\pi/2$, P est le nombre d'éléments radiatifs et

$$\mathbf{s}^{i,j} = (\mathbf{R}_j \otimes \mathbf{I}_2) \begin{pmatrix} \mathbf{a}_{(i-1)P+1} \\ \mathbf{a}_{(i-1)P+P} \\ \vdots \\ \mathbf{a}_{iP} \end{pmatrix} \text{ à une marge de } \pm 10\% \text{ près, où } \mathbf{I}_2 \text{ est}$$

la matrice identité de taille 2×2 , $\otimes$ est le produit tensoriel, $\mathbf{a}_\ell$, $\ell=1, \dots, P^2$ sont les symboles d'information,

$\mathbf{R}_j$ est un vecteur ligne de dimension P correspondant à la $j^{\text{ième}}$ ligne d'une matrice orthogonale $\mathbf{R}$ générant le

réseau de points $\Lambda = \{\mathbf{u}\mathbf{\Theta} \mid \mathbf{u} \in \mathbf{Z}^P\}$ avec $\mathbf{\Theta} = \begin{pmatrix} 1 & \theta_0 & \dots & \theta_0^{P-1} \\ 1 & \theta_1 & \dots & \theta_1^{P-1} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 1 & \theta_{P-1} & \dots & \theta_{P-1}^{P-1} \end{pmatrix}$ où

θ_p , $p=0, \dots, P-1$ P racines réelles distinctes d'un polynôme de degré P à coefficients rationnels.

2. Procédé de codage spatio-temporel, selon la revendication 1, caractérisé en ce que la matrice orthogonale s'exprime sous la forme $\mathbf{R} = \mathbf{\Theta}\mathbf{V}$ où $\mathbf{V}$ est une matrice dont les colonnes sont constituées par des vecteurs $\mathbf{v}^{(p)} = (v_0^{(p)}, v_1^{(p)}, \dots, v_{P-1}^{(p)})^T$ $p=0, \dots, P-1$ dont les coefficients sont rationnels.

3. Procédé de transmission d'une pluralité de symboles d'information appartenant à un alphabet de modulation 2-PPM ou de modulation composite 2-PPM-M'-PAM avec $M' \geq 2$, caractérisé en ce que lesdits symboles d'information sont codés au moyen du codage spatio-temporel selon la revendication 1 ou 2 pour fournir P^2 vecteurs de dimension 2, éléments de ladite matrice $\mathbf{C}$, les composantes de chacun de ces vecteurs modulant la position ou bien la position et l'amplitude des impulsions composant un signal UWB impulsionnel pour obtenir P^2 signaux UWB impulsionnels modulés correspondants, les signaux étant respectivement transmis par les P éléments radiatifs pendant P intervalles de transmission.

4. Procédé de transmission selon la revendication 3, caractérisé en ce que les éléments radiatifs sont des antennes UWB.

5

5. Procédé de transmission selon la revendication 3, caractérisé en ce que les éléments radiatifs sont des diodes laser ou des diodes électroluminescentes.

10

6. Procédé selon l'une des revendications 3 à 5, caractérisé en ce que ledit signal impulsionnel est un signal TH-UWB.

15

7. Procédé selon l'une des revendications 3 à 5, caractérisé en ce que ledit signal impulsionnel est un signal DS-UWB.

20

8. Procédé selon l'une des revendications 3 à 5, caractérisé en ce que ledit signal impulsionnel est un signal TH-DS-UWB.

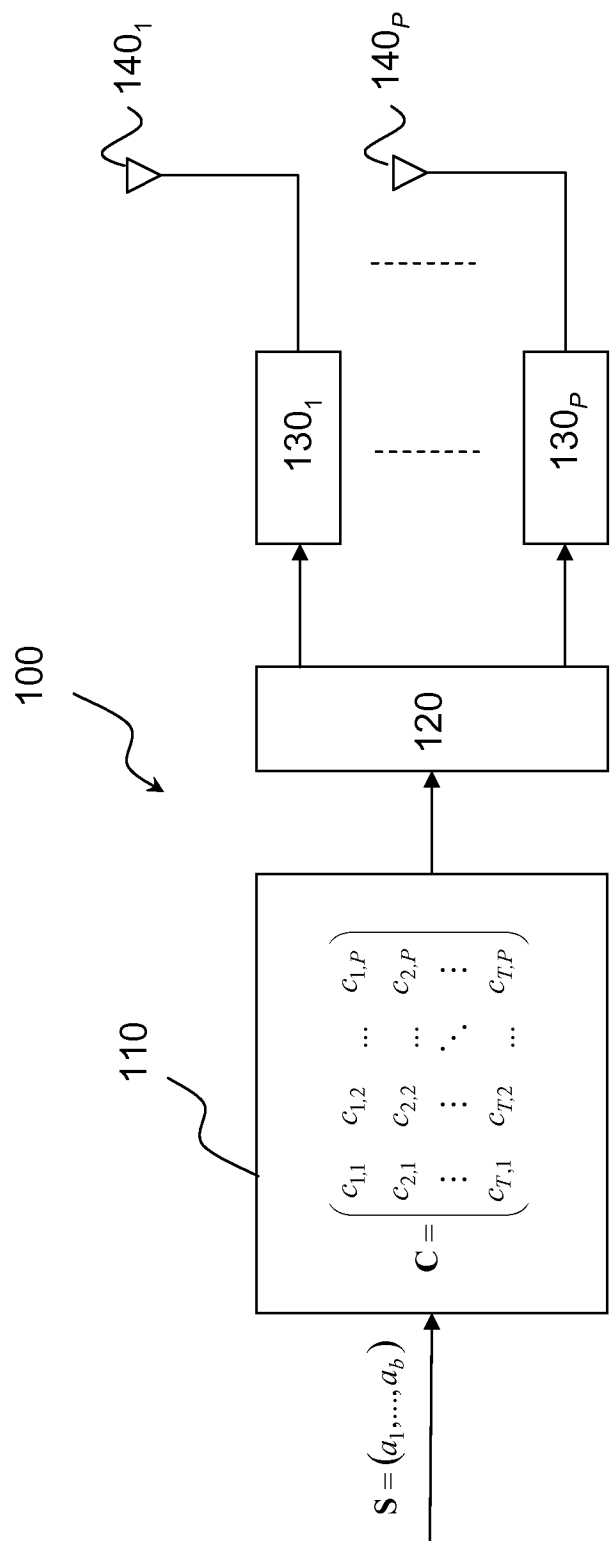
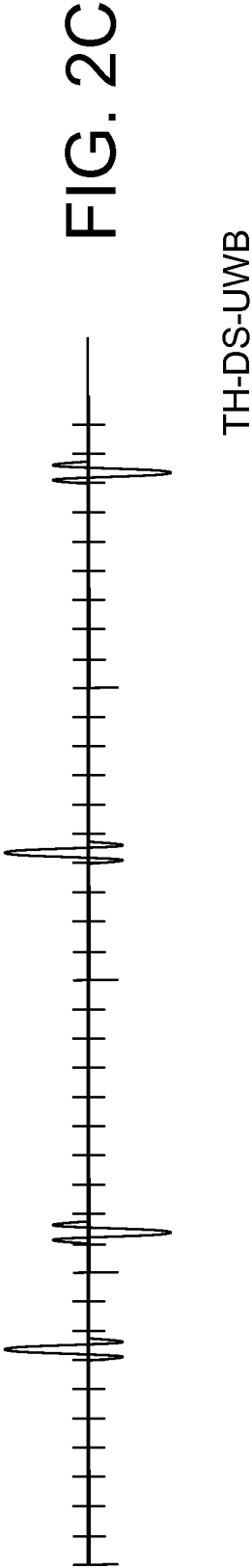
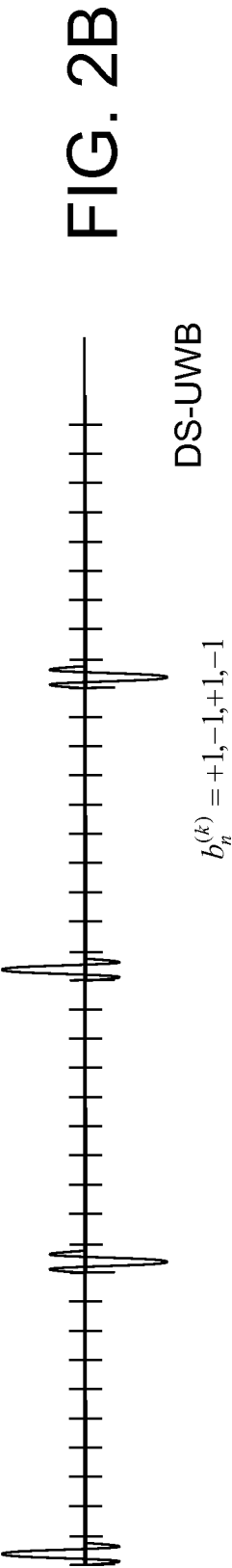
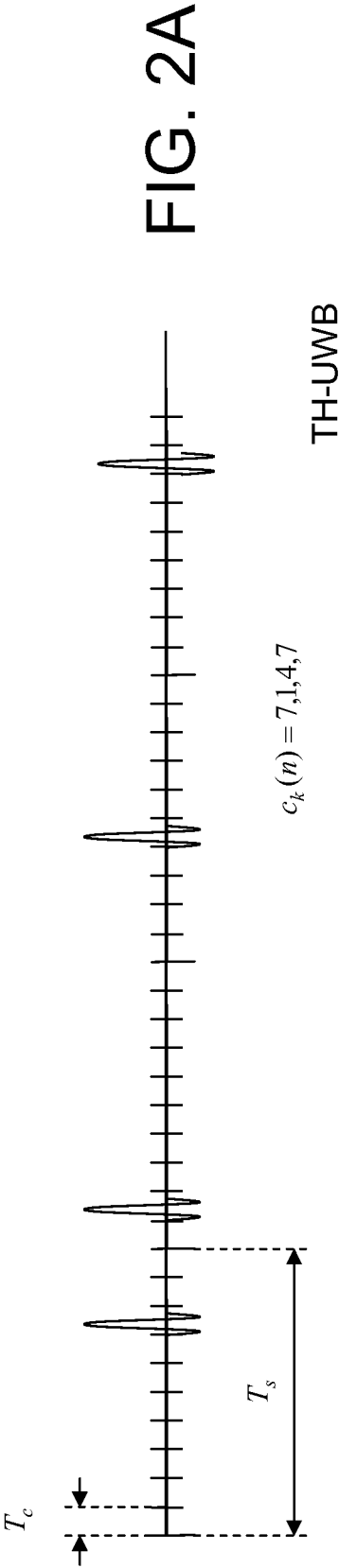


FIG. 1



3 / 4

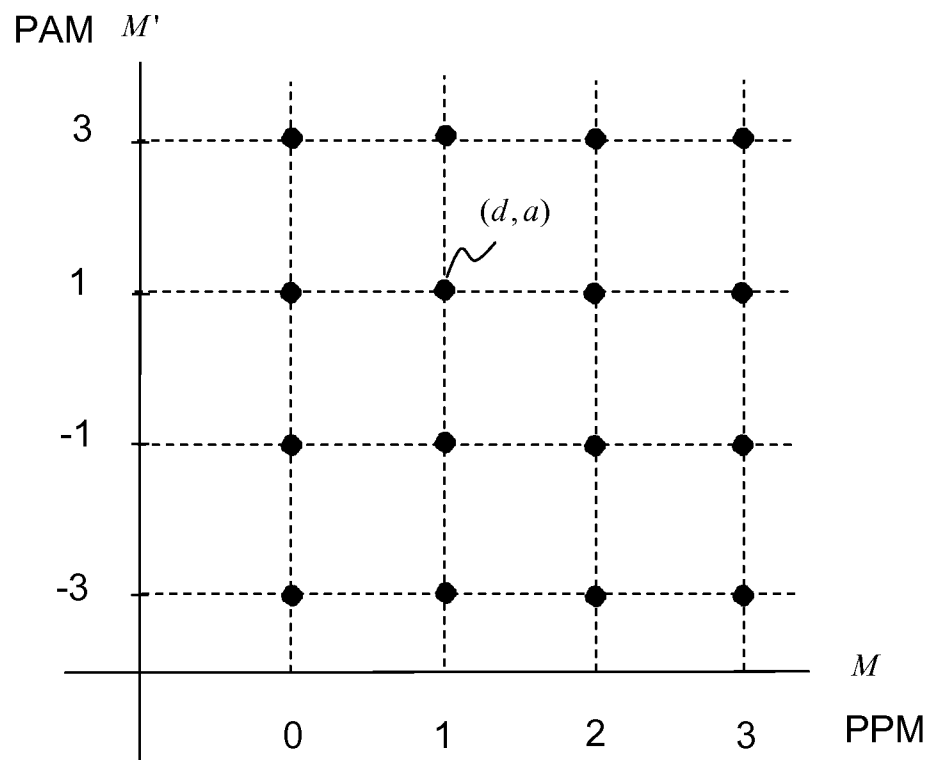


FIG. 3

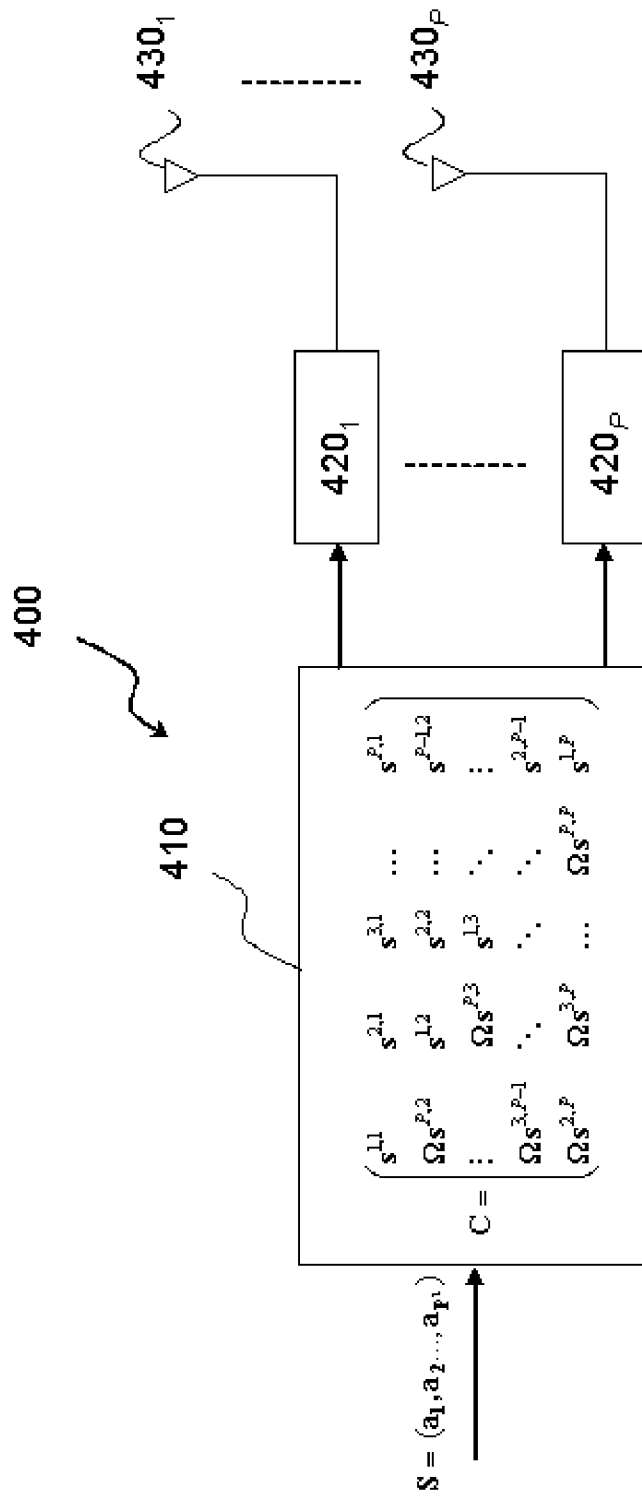


FIG. 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2007/060420

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H04L1/06

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H04L

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

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

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CHADI ABOU-RJEILY ET AL: "SPACE-TIME CODING FOR MULTIUSER ULTRA-WIDEBAND COMMUNICATIONS" INTERNET CITATION, [Online] 13 September 2005 (2005-09-13), XP008071459 Retrieved from the Internet: URL: http://www.comelec.enst.fr/{belfiore/UB_MIMO.pdf} [retrieved on 2006-11-15] cited in the application pages 2-10 ----- -/--	1-8

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *G* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

31 octobre 2007

Date of mailing of the international search report

09/11/2007

Name and mailing address of the ISA/
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Belloni, Paolo

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2007/060420

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	ABOU-RJEILY C ET AL: "A NEW FAMILY OF SPACE-TIME CODES FOR PULSE AMPLITUDE AND POSITION MODULATED UWB SYSTEMS" PROCEEDINGS IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INFORMATION THEORY, XX, XX, 9 July 2006 (2006-07-09), pages 2829-2833, XP008073212 the whole document -----	1-8
A	LENSTRA A K ET AL: "Factoring Polynomials with Rational Coefficients" MATHEMATISCHE ANNALEN, SPRINGER, BERLIN, DE, vol. 261, 1982, pages 515-534, XP002421156 ISSN: 0025-5831 the whole document -----	1-3

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2007/060420

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
INV. H04L1/06

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

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)
H04L

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

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

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	CHADI ABOU-RJEILY ET AL: "SPACE-TIME CODING FOR MULTIUSER ULTRA-WIDEBAND COMMUNICATIONS" INTERNET CITATION, [Online] 13 septembre 2005 (2005-09-13), XP008071459 Extrait de l'Internet: URL: http://www.comelec.enst.fr/{belfiore/UB_WB_MIMO.pdf> [extrait le 2006-11-15] cité dans la demande pages 2-10 ----- -/--	1-8

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

☐ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

- *A* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- *E* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- *L* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- *O* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- *P* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- *T* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- *X* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- *Y* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- *Z* document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

31 octobre 2007

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

09/11/2007

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

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 ...
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Belloni, Paolo

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	ABOU-RJEILY C ET AL: "A NEW FAMILY OF SPACE-TIME CODES FOR PULSE AMPLITUDE AND POSITION MODULATED UWB SYSTEMS" PROCEEDINGS IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INFORMATION THEORY, XX, XX, 9 juillet 2006 (2006-07-09), pages 2829-2833, XP008073212 le document en entier -----	1-8
A	LENSTRA A K ET AL: "Factoring Polynomials with Rational Coefficients" MATHEMATISCHE ANNALEN, SPRINGER, BERLIN, DE, vol. 261, 1982, pages 515-534, XP002421156 ISSN: 0025-5831 le document en entier -----	1-3