

19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
**INSTITUT NATIONAL  
 DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**  
 PARIS

11) N° de publication : **2 927 207**  
 (à n'utiliser que pour les  
 commandes de reproduction)

21) N° d'enregistrement national : **08 50597**

51) Int Cl<sup>8</sup> : **H 04 B 10/10 (2006.01)**

12)

**DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

**A1**

22) Date de dépôt : 31.01.08.

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) : *COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE Etablissement public à caractère industriel et commercial — FR.*

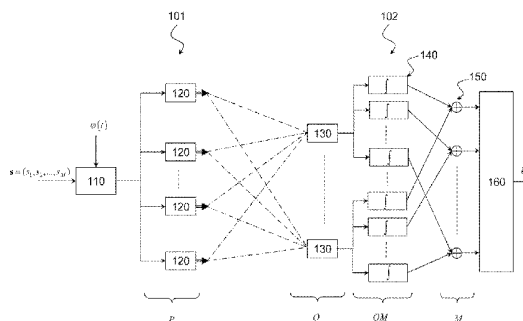
72) Inventeur(s) : *ABOU RJEILY CHADI.*

73) Titulaire(s) :

74) Mandataire(s) : *BREVALEX.*

54) **SYSTEME MIMO OPTIQUE.**

57) La présente invention concerne une méthode de transmission de symboles d'information appartenant à un alphabet de modulation OOK ou M-PPM avec  $M \geq 2$  par un système MIMO optique comprenant une pluralité  $P$  de photoémetteurs, dans laquelle, pour chaque symbole d'information OOK ( $s$ ) ou M-PPM ( $s$ ) à transmettre pendant un temps symbole, on module un signal  $(\varphi(t))$  au moyen dudit symbole d'information, respectivement par une modulation tout ou rien et une modulation M-PPM, le signal modulé par un même symbole d'information ( $s(t)$ ) étant fourni pendant un même temps symbole aux  $P$  photoémetteurs pour être transmis dans l'espace libre.



FR 2 927 207 - A1



**SYSTÈME MIMO OPTIQUE****DESCRIPTION**5 **DOMAINE TECHNIQUE**

La présente invention concerne de manière générale le domaine des communications optiques dans l'espace libre et plus particulièrement celui des systèmes MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) optiques.

10

**ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE**

Les communications optiques en espace libre, encore dénommées FSO (*Free-Space Optical*) utilisant une modulation d'intensité à l'émission et une détection  
15 directe sont actuellement utilisées pour les transmissions à très courte distance, comme dans les systèmes IrDA (*Infrared Data Association*). Elles sont également envisagées pour remplacer la boucle locale c'est-à-dire pour assurer la desserte des abonnés (*last  
20 mile problem*) notamment dans les environnements urbains à forte densité de population, lorsque des liaisons en fibre optique ne peuvent être déployées ou si leur déploiement se ferait à un coût prohibitif.

Les communications optiques en espace libre  
25 souffrent toutefois de sévères limitations, essentiellement dues à un phénomène dit de scintillation atmosphérique, c'est-à-dire à des fluctuations d'indice dues aux turbulences atmosphériques créant des variations d'intensité  
30 lumineuses à la réception. Pour rendre les

communications optiques plus résistantes au phénomène de scintillation, il a été proposé dans l'article de M.K Simon *et al.* intitulé « Alamouti-type space-time coding for free space optical communication with direct  
5 detection » publié dans IEEE Trans. on wireless comm., vol. 4, N° 1, Jan. 2005, pages 35-39, d'utiliser un système de type multi-antenne avec codage spatio-temporel.

Les systèmes de télécommunication sans fil de type  
10 multi-antenne sont bien connus de l'état de la technique. Ces systèmes utilisent une pluralité d'antennes d'émission ainsi qu'une ou plusieurs antenne(s) à la réception et sont dénommés, selon le type de configuration adoptée, MIMO (*Multiple Input  
15 Multiple Output*) ou MISO (*Multiple Input Single Output*). Par la suite nous emploierons le même terme MIMO pour couvrir les variantes MIMO et MISO précitées. Dans sa variante optique, un système MIMO comprend une pluralité de sources lumineuses, typiquement des diodes  
20 électroluminescentes ou des diodes lasers, et au moins un photodétecteur, typiquement une photodiode.

Dans un système MIMO à codage spatio-temporel et plus précisément à codage spatio-temporel par blocs, dit aussi STBC (*Space-Time Block Coding*), un bloc de  
25 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 au nombre d'instantants consécutifs de transmission.

30 Le codage spatio-temporel proposé dans l'article précité s'applique à un système optique équipé de deux

photoémetteurs et code un bloc de deux symboles d'information appartenant à un alphabet de modulation OOK (*On-Off Keying*) ou 2-PPM (*Pulse Position Modulation*). On rappelle que l'alphabet de modulation OOK est constitué de deux symboles 0,1 correspondant à une modulation par tout ou rien (*On/Off*). L'alphabet de modulation 2-PPM est constitué de deux symboles correspondant respectivement à une première et une seconde positions temporelles. Le code spatio-temporel proposé peut s'écrire sous la forme suivante :

$$\mathbf{C} = \begin{pmatrix} \mathbf{s}_1 & \bar{\mathbf{s}}_2 \\ \mathbf{s}_2 & \bar{\mathbf{s}}_1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

où la première et la seconde lignes de  $\mathbf{C}$  correspondent respectivement au premier et au second instants de transmission dits aussi PCUs (*Per Channel Use*) ; la première et la seconde colonnes de  $\mathbf{C}$  correspondent respectivement au premier et au second photoémetteurs ;  $\mathbf{s}_1, \mathbf{s}_2$  sont deux symboles d'information à transmettre et  $\bar{\mathbf{s}}_1, \bar{\mathbf{s}}_2$  sont leurs symboles complémentaires respectifs, définis par :

- pour des symboles OOK, si  $\mathbf{s}_i = 0$  (*Off*),  $\bar{\mathbf{s}}_i = 1$  (*On*) et réciproquement, et
- pour des symboles 2-PPM, si  $\mathbf{s}_i$  correspond à première (resp. seconde) position PPM,  $\bar{\mathbf{s}}_i$  correspond à seconde (resp. première) position PPM.

Tout comme le code d'Alamouti dont il est dérivé, le code spatio-temporel défini par (1) est à diversité maximale.

Ce code spatio-temporel a été étendu à un système à quatre photoémetteurs dans l'article de A. Garcia-Zambrana intitulé « Error rate performance for STBC in free-space optical communications through strong atmospheric turbulence » publié dans IEEE Com. Letters, Vol. 11, N° 5, May 2007, pages 390-392. Dans le système décrit, un bloc de quatre symboles d'information  $\mathbf{s}_1, \mathbf{s}_2, \mathbf{s}_3, \mathbf{s}_4$  appartenant à un alphabet de modulation OOK ou 2-PPM, est codé par le code spatio-temporel suivant:

$$\mathbf{C} = \begin{pmatrix} \mathbf{s}_1 & \bar{\mathbf{s}}_2 & \bar{\mathbf{s}}_3 & \bar{\mathbf{s}}_4 \\ \mathbf{s}_2 & \mathbf{s}_1 & \mathbf{s}_4 & \bar{\mathbf{s}}_3 \\ \mathbf{s}_3 & \bar{\mathbf{s}}_4 & \mathbf{s}_1 & \mathbf{s}_2 \\ \mathbf{s}_4 & \mathbf{s}_3 & \bar{\mathbf{s}}_2 & \mathbf{s}_1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

15

où, comme précédemment, les lignes représentent les instants d'utilisation, les colonnes les photoémetteurs et  $\bar{\mathbf{s}}_i$  est le symbole complémentaire de  $\mathbf{s}_i$ . Ce code est également à diversité maximale.

20

Les systèmes MIMO optiques précités souffrent toutefois d'un certain nombre de contraintes. Tout d'abord, ils ne fonctionnent qu'avec un nombre très limité de photoémetteurs (2 ou 4) et une seule modulation PPM (2-PPM). En outre, les codes spatio-temporels définis (1) et (2) nécessitent respectivement 2 et 4 temps d'utilisation pour transmettre un bloc de symboles, ce qui se traduit corrélativement à la

25

réception par des délais de décodage respectifs de 2 et 4 temps-symbole.

Le but de la présente invention est de proposer un système MIMO optique remédiant aux inconvénients exposés ci-dessus, en particulier de proposer un système MIMO optique qui puisse fonctionner avec un nombre quelconque de photoémetteurs et un alphabet de modulation PPM comportant un nombre quelconque de positions de modulation.

## 10 **EXPOSÉ DE L'INVENTION**

La présente invention est définie par une méthode de transmission de symboles d'information appartenant à un alphabet de modulation OOK ou  $M$ -PPM avec  $M \geq 2$  par un système MIMO optique comprenant une pluralité  $P$  de photoémetteurs, selon laquelle, pour chaque symbole d'information OOK ou  $M$ -PPM à transmettre pendant un temps symbole, on module un signal au moyen dudit symbole d'information, respectivement par une modulation par tout ou rien et une modulation  $M$ -PPM, le signal modulé par un même symbole d'information étant fourni pendant un même temps symbole aux  $P$  photoémetteurs pour être transmis dans l'espace libre.

La présente invention concerne également un dispositif d'émission pour système MIMO optique, comportant une pluralité  $P$  de photoémetteurs, comprenant en outre un modulateur relié aux  $P$  photoémetteurs, adapté à moduler un signal au moyen de symboles d'information appartenant à un alphabet de modulation OOK ou  $M$ -PPM avec  $M \geq 2$ , le modulateur étant adapté à fournir, pendant un même temps symbole,

le signal modulé par un même symbole d'information, aux  $P$  photoémetteurs pour être transmis dans l'espace libre.

Les photoémetteurs peuvent être des diodes laser  
5 ou des diodes électroluminescentes.

L'invention concerne encore un système MIMO optique pour communication en espace libre, comportant un dispositif d'émission tel que défini ci-dessus et un dispositif de réception comprenant au moins un  
10 photodétecteur.

Selon un premier mode de réalisation, les symboles d'information appartiennent à un alphabet de modulation  $M$ -PPM, et ledit photodétecteur est suivi d'une pluralité  $M$  d'intégrateurs, chaque intégrateur étant  
15 adapté à fournir pour chaque temps symbole, une valeur d'énergie du signal reçu par ledit photodétecteur pour une position de modulation, lesdites valeurs d'énergie étant ensuite comparées entre elles dans un comparateur pour fournir la position de modulation correspondant à  
20 la valeur d'énergie la plus élevée.

Selon une variante du premier mode de réalisation, les symboles d'information appartiennent à un alphabet de modulation  $M$ -PPM, et le récepteur comprend une pluralité de photodétecteurs, chaque photodétecteur  
25 étant suivi d'une pluralité  $M$  d'intégrateurs, chaque intégrateur étant adapté à fournir pour chaque temps symbole, une valeur d'énergie du signal reçu par ledit photodétecteur pour une position de modulation, les valeurs d'énergie relatives à une même position de  
30 modulation étant sommées par un sommateur, et les valeurs d'énergie ainsi sommées pour les  $M$  positions

de modulation étant comparées dans un comparateur pour fournir la position de modulation correspondant à la valeur d'énergie sommée la plus élevée.

Selon un second mode de réalisation, les symboles d'information appartiennent à un alphabet de modulation OOK, et ledit photodétecteur est suivi par un intégrateur adapté à fournir une valeur d'énergie du signal reçu sur un temps symbole, ladite valeur d'énergie étant comparée à un seuil prédéterminé dans un comparateur pour fournir une estimation du symbole d'information reçu pendant le temps symbole.

Selon une variante du second mode de réalisation, les symboles d'information appartiennent à un alphabet de modulation OOK, et le récepteur comprend une pluralité de photodétecteurs, chaque photodétecteur étant suivi par un intégrateur adapté à fournir une valeur d'énergie du signal reçu sur un temps symbole, lesdites valeurs d'énergie étant sommées par un sommateur et la valeur ainsi sommée étant comparée dans un comparateur à un seuil prédéterminé pour fournir une estimation du symbole d'information reçu pendant le temps symbole.

#### **BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS**

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

La Fig. 1 représente schématiquement un système MIMO optique selon un premier mode de réalisation de l'invention ;

La Fig. 2 représente schématiquement un système MIMO optique selon un second mode de réalisation de l'invention ;

La Fig. 3 représente la probabilité d'erreur pour deux systèmes MIMO optiques selon l'invention et pour deux systèmes MIMO optiques selon l'état la technique.

10

#### **EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS**

On considère à nouveau un système MIMO optique comprenant une pluralité de photoémetteurs et au moins un photodétecteur. Plus précisément, on supposera dans la suite que le système MIMO optique comprend  $P \geq 2$  photoémetteurs, par exemple des diodes laser ou des LEDs, et  $Q \geq 1$  photodétecteurs, par exemple des photodiodes. Le canal entre un photoémetteur  $p=1, \dots, P$  et un photodétecteur  $q=1, \dots, Q$  peut être modélisé par un coefficient d'atténuation,  $h_{qp}$  nombre réel et inférieur à 1, traduisant l'atténuation optique sur le trajet en ligne directe (LOS) entre le photoémetteur  $p$  et le photodétecteur  $q$ .

L'idée à la base de la présente invention est de transmettre le même symbole par les différents photoémetteurs, autrement dit d'éliminer la dimension temporelle du code spatio-temporel. Plus précisément pour un symbole à transmettre, appartenant à un alphabet de modulation OOK ou  $M$ -PPM avec  $M > 1$ , chacun

30

des  $P$  photoémetteurs transmet simultanément un signal modulé ce symbole.

Nous envisagerons tout d'abord le cas d'une modulation  $M$ -PPM.

5 Si l'on note  $\mathbf{s}$  le symbole  $M$ -PPM transmis simultanément par les  $P$  photoémetteurs, chaque photorécepteur  $q$  reçoit la puissance optique :

$$\mathbf{r}_q = \sum_{p=1}^P h_{qp} \mathbf{s} + \mathbf{n}_q \quad (3)$$

10

où  $\mathbf{s} = (s_1, s_2, \dots, s_M)$  est un vecteur de dimension  $M$  dont les composantes sont toutes nulles à l'exception d'une seule, égale à 1, correspondant à la position de modulation du symbole ;  $\mathbf{n}_q = (n_{q1}, \dots, n_{qM})$  est un vecteur

15 aléatoire dont les composantes sont des variables aléatoires *i.i.d* gaussiennes centrées représentant le bruit à la réception sur le photorécepteur  $q$  pour les différentes positions PPM et  $\mathbf{r}_q = (r_{q1}, r_{q2}, \dots, r_{qM})$  est un vecteur de dimension  $M$  associé au photodétecteur  $q$  et  
 20 dont les composantes donnent les puissances respectives reçues pour les différentes positions de modulation PPM ; et  $h_{qp}$  sont des variables aléatoires *i.i.d* à valeurs dans  $[0,1]$  et dont la densité de probabilité suit une loi exponentielle, c'est-à-dire :

25

$$p(h) = \frac{1}{\bar{h}} \exp\left(-\frac{h}{\bar{h}}\right) \quad (4)$$

où  $\bar{h}$  est la valeur moyenne de  $h$ .

On supposera dans la suite que les différences de temps de propagation entre couples de photoémetteurs et de photodétecteur(s) sont sensiblement inférieures à l'écart temporel  $\varepsilon$  séparant les positions de modulation.

A la réception, la détection du symbole est effectuée de manière incohérente, c'est-à-dire sans connaissance préalable des coefficients d'atténuation  $h_{qp}$ . Plus précisément, le symbole  $\mathbf{s}$  est détecté comme le vecteur  $\hat{\mathbf{s}} = (\delta(m - \hat{m}_\ell))_{m=1, \dots, M}$  où  $\delta$  est le symbole de Dirac et  $\hat{m}_\ell$  la position PPM du symbole  $\mathbf{s}$  estimée au sens du maximum de vraisemblance (ML) est obtenue par :

$$\hat{m}_\ell = \arg \max_{m=1, \dots, M} \left( \sum_{q=1}^Q r_{qm} \right) \quad (5)$$

15

En pratique les valeurs  $r_{qm}$  représentent des énergies, la puissance optique reçue par un photodétecteur étant intégrée sur la durée symbole.

On comprend d'après (5) que la détection consiste à sommer les énergies reçues par les différents photodétecteurs pour chacune des positions PPM et à sélectionner la position qui recueille la plus forte énergie. Si le système ne comporte qu'un seul photodétecteur, l'opération de sommation est bien entendu omise. Cette détection, particulièrement robuste, peut être effectuée à chaque temps symbole, sans délai de traitement. En outre, elle s'applique quelles que soient les valeurs de  $M \geq 2$ ,  $P \geq 2$  et  $Q \geq 1$

25

et permet donc une grande flexibilité dans la réalisation du système.

La Fig. 1 représente un système MIMO optique selon un premier mode de réalisation de l'invention.

Le système comprend un dispositif d'émission 101 et un dispositif de réception 102. Le dispositif d'émission comprend un modulateur PPM 110 commun aux  $P$  photoémetteurs 120 et recevant les symboles d'information appartenant à l'alphabet  $M$ -PPM. Pour chaque symbole PPM  $\mathbf{s} = (\delta(m - m_\ell))_{m=1, \dots, M}$ , le modulateur 110 module en position un signal élémentaire, par exemple une impulsion de forme d'onde  $\varphi(t)$ :

$$s(t) = \varphi(t - m_\ell \varepsilon) \quad (6)$$

où  $\varepsilon$  est l'écart temporel séparant deux positions de modulation consécutives.

Chacun des photoémetteurs 120 transmet le signal  $s(t)$  sous la forme d'une onde lumineuse, qui est reçue par chacun des  $Q$  photodétecteurs 130. Le signal reçu par chaque photodétecteur  $q$  est intégré temporellement dans les intégrateurs 140 pour chacune des  $M$  positions de modulation, après filtrage adapté éventuel à la forme d'onde (non représenté), pour fournir les composantes  $r_{qm}$ ,  $m=1, \dots, M$  du vecteur  $\mathbf{r}_q$ . Les composantes  $r_{qm}$  sont ensuite sommées par les  $M$  sommateurs 150 pour fournir les variables de décision  $\sum_{q=1}^Q r_{qm}$ ,  $m=1, \dots, M$ . Les

$M$  variables de décision sont comparées dans le comparateur 160 pour fournir la position  $\hat{m}_\ell$  selon (5) et donc le symbole estimé  $\hat{\mathbf{s}}$ . On notera que si le système comprend un seul photodétecteur, les sommateurs 5 150 sont omis.

Nous envisagerons maintenant le cas d'une modulation OOK. Si l'on note  $s$  un symbole OOK avec  $s=0$  (Off) ou 1 (On), le signal reçu par un photodétecteur  $q$  10 peut s'écrire :

$$r_q = \sum_{p=1}^P h_{qp} s + n_q \quad (7)$$

où les coefficients  $h_{qp}$  ont le même sens que 15 précédemment,  $n_q$  est une variable aléatoire gaussienne centrée représentant le bruit,  $r_q$  représente l'énergie reçue par le photodétecteur, par intégration de la puissance optique reçue sur un temps symbole.

La détection des symboles OOK est cohérente, 20 c'est-à-dire qu'elle suppose la connaissance préalable des coefficients d'atténuation  $h_{qp}$ , par exemple grâce à la transmission d'une séquence de symboles pilote. Pour ce faire, le symbole  $s=1$  peut être successivement transmis par chacun des photoémetteurs, les autres 25 photoémetteurs étant passifs (c'est-à-dire  $s=0$ ). On notera que la transmission de la séquence pilote déroge au principe de transmission simultanée du même symbole par les différents photodétecteurs.

La détection selon maximum de vraisemblance peut être effectuée par comparaison de la somme des énergies

$\sum_{q=1}^Q r_q$  avec un seuil prédéterminé  $T$  :

$$5 \quad \sum_{q=1}^Q r_q < T \Rightarrow \hat{s} = 0 \quad \text{et} \quad \sum_{q=1}^Q r_q \geq T \Rightarrow \hat{s} = 1 \quad (8)$$

où le seuil  $T$  est déterminé, en fonction des coefficients  $h_{qp}$  :

$$10 \quad T = \sqrt{\frac{\left( \sum_{q=1}^Q \sum_{p=1}^P h_{qp} \right) E}{2}} \quad (9)$$

où  $E$  est l'énergie moyenne des symboles émis.

La Fig. 2 représente schématiquement un système MIMO optique selon un second mode de réalisation de l'invention.

Le système comprend un modulateur On-Off 210, commun aux  $P$  photoémetteurs 220, et recevant les symboles d'information  $s$ . Lorsque  $s=1$  le modulateur fournit un signal élémentaire, par exemple une impulsion de forme d'onde  $\varphi(t)$ , notamment une impulsion rectangulaire, à tous les photoémetteurs et, à l'inverse, lorsque  $s=0$ , aucun signal n'est transmis, soit simplement:

$$25 \quad s(t) = s \cdot \varphi(t) \quad (10)$$

Chacun des photoémetteurs 220 transmet le signal  $s(t)$  sous la forme d'une onde lumineuse, qui est reçue par chacun des  $Q$  photodétecteurs 230. Le signal reçu par un photodétecteur  $q$  est intégré temporellement dans un intégrateur 240, après filtrage adapté éventuel (non représenté) à la forme d'onde des impulsions, sur une durée symbole pour fournir la valeur  $r_q$ . Ces valeurs sont sommées dans le sommateur 250 et la somme obtenue est comparée au seuil de détection  $T$  précité dans le comparateur 260. Le résultat de cette comparaison donne l'estimation  $\hat{s}$  du symbole transmis. On notera que si le système comprend un seul photodétecteur, le sommateur 250 est omis.

15

On peut montrer que la probabilité d'erreur binaire (BER) d'un système MIMO optique selon la présente invention est donnée par :

$$P_e = Q \left( \sqrt{k\eta \left( \sum_{q=1}^Q \sum_{p=1}^P h_{qp}^2 \right)} \right) \quad (11)$$

où la fonction  $Q(\cdot)$  est la queue de Gaussienne (Gaussian Q function),  $k$  est une constante dépendant de la modulation utilisée et  $\eta$  le rapport signal sur bruit (SNR).

25

Par contraste, la probabilité d'erreur binaire des systèmes MIMO optiques de l'état de technique cité dans la partie introductive est donnée par :

$$P_e^{old} = Q \left( \sqrt{k\eta \left( \sum_{q=1}^Q \sum_{p=1}^P h_{qp} \right)^2} \right) \quad (12)$$

Puisque  $h_{qp} \geq 0$ ,  $p=1, \dots, P$ ,  $q=1, \dots, Q$ , on a, d'après l'inégalité de Schwartz  $\left( \sum_{q=1}^Q \sum_{p=1}^P h_{qp}^2 \right) \leq \left( \sum_{q=1}^Q \sum_{p=1}^P h_{qp} \right)^2$  et donc

5  $P_e \leq P_e^{old}$ , autrement dit les systèmes MIMO optiques selon l'invention présentent un BER plus faible que ceux connus de l'état de la technique, à même niveau de SNR.

La Fig. 3 représente le taux d'erreur binaire pour différents systèmes MIMO optiques.

La courbe 310 correspond au système SISO (*Single In Single Out*) de référence, avec un seul photoémetteur et un seul photodétecteur (1x1).

Les courbes 320 et 330 correspondent à un système MIMO à deux photoémetteurs et un photodétecteur (système 2x1), utilisant des symboles d'information 2-PPM, respectivement avec le codage spatio-temporel décrit dans l'article de M.K. Simon *et al.* et avec le codage selon le premier mode de réalisation de l'invention.

De manière similaire, les courbes 340 et 350 correspondent à un système MIMO à quatre photoémetteurs et un photodétecteur (système 4x1), utilisant des symboles d'information 2-PPM, respectivement avec le codage spatio-temporel décrit dans l'article de A. Garcia-Zambrana et avec le codage selon le premier mode de réalisation de l'invention.

On constate, comme prévu plus haut, que le taux d'erreur binaire obtenu avec un système MIMO optique selon l'invention est effectivement plus faible qu'avec un système de l'état de la technique.

**REVENDEICATIONS**

1. Méthode de transmission de symboles  
5 d'information appartenant à un alphabet de modulation  
OOK ou  $M$ -PPM avec  $M \geq 2$  par un système MIMO optique  
comprenant une pluralité  $P$  de photoémetteurs,  
caractérisée en ce que, pour chaque symbole  
d'information OOK ( $s$ ) ou  $M$ -PPM ( $\mathbf{s}$ ) à transmettre  
10 pendant un temps symbole, on module un signal ( $\varphi(t)$ ) au  
moyen dudit symbole d'information, respectivement par  
une modulation par tout ou rien et une modulation  $M$ -  
PPM, le signal modulé par un même symbole d'information  
( $s(t)$ ) étant fourni pendant un même temps symbole aux  $P$   
15 photoémetteurs pour être transmis dans l'espace libre.

2. Dispositif d'émission pour système MIMO  
optique, comprenant une pluralité  $P$  de photoémetteurs  
(120,220), caractérisé en ce qu'il comprend en outre un  
20 modulateur (110,210) relié aux  $P$  photoémetteurs,  
adapté à moduler un signal au moyen de symboles  
d'information appartenant à un alphabet de modulation  
OOK ou  $M$ -PPM avec  $M \geq 2$ , le modulateur étant adapté à  
fournir, pendant un même temps symbole, le signal  
25 modulé par un même symbole d'information, aux  $P$   
photoémetteurs pour être transmis dans l'espace libre.

3. Dispositif d'émission selon la  
revendication 2, caractérisé en ce que les  
30 photoémetteurs sont des diodes laser.

4. Dispositif d'émission selon la revendication 2, caractérisé en ce que les photoémetteurs sont des diodes électroluminescentes.

5 5. Système MIMO optique pour communication en espace libre, caractérisé en ce qu'il comporte un dispositif d'émission (101,201) selon l'une des revendications 2 à 4, et un dispositif de réception (102,202) comprenant au moins un photodétecteur.

10

6. Système MIMO selon la revendication 5, caractérisé en ce que les symboles d'information appartiennent à un alphabet de modulation  $M$ -PPM, et que ledit photodétecteur (130) est suivi d'une pluralité  $M$  d'intégrateurs (140), chaque intégrateur étant adapté à fournir pour chaque temps symbole, une valeur d'énergie du signal reçu par ledit photodétecteur pour une position de modulation, lesdites valeurs d'énergie étant ensuite comparées entre elles dans un comparateur (160) pour fournir la position de modulation ( $\hat{m}_\ell$ ) correspondant à la valeur d'énergie la plus élevée.

7. Système MIMO selon la revendication 5, caractérisé en ce que les symboles d'information appartiennent à un alphabet de modulation  $M$ -PPM, et que le récepteur (102) comprend une pluralité de photodétecteurs (140), chaque photodétecteur étant suivi d'une pluralité  $M$  d'intégrateurs, chaque intégrateur étant adapté à fournir pour chaque temps symbole, une valeur d'énergie du signal reçu par ledit

30

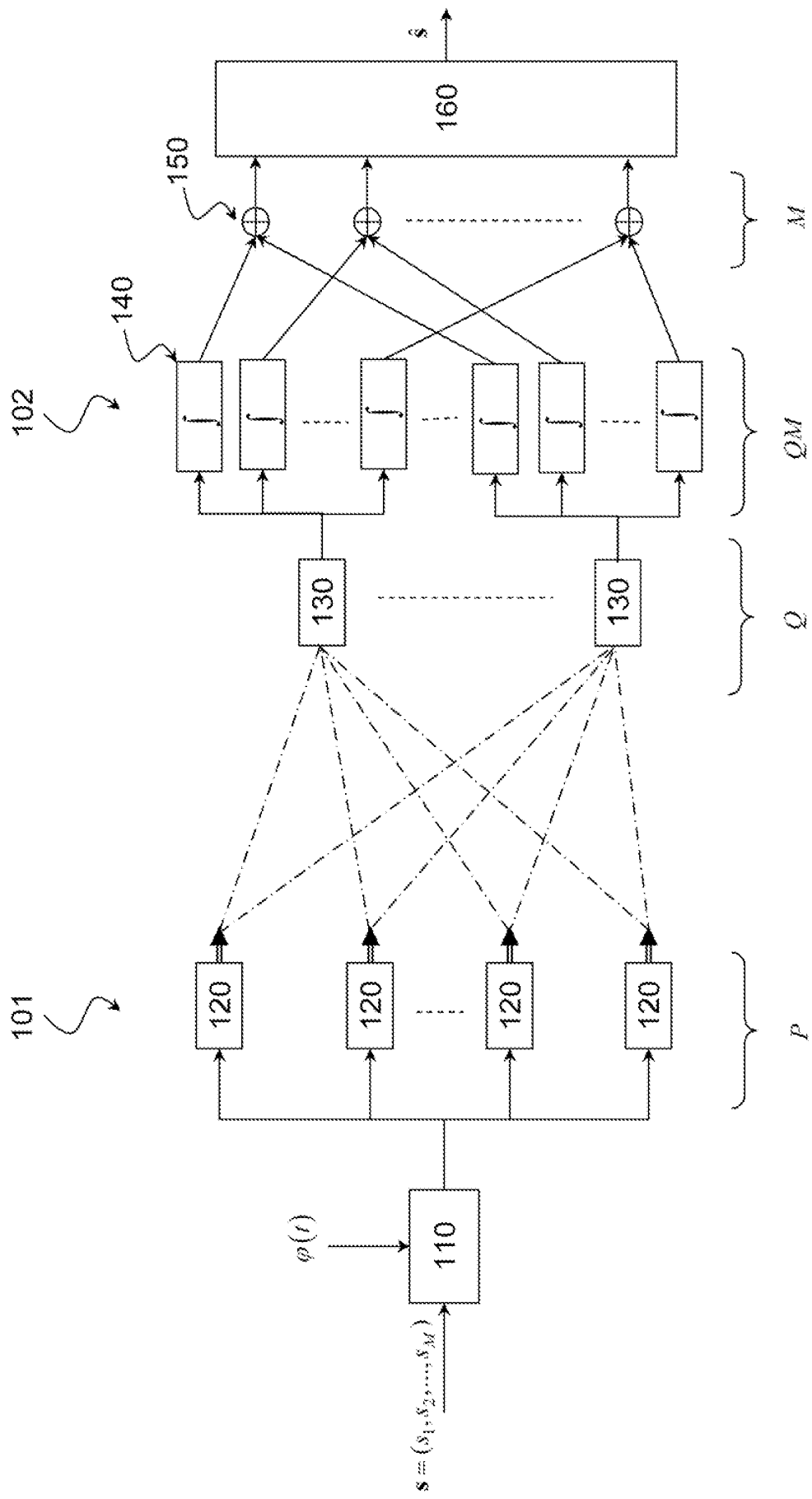
photodétecteur pour une position de modulation, les valeurs d'énergie relatives à une même position de modulation étant sommées par un sommateur (150), et les valeurs d'énergie ainsi sommées pour les  $M$  positions de modulation étant comparées dans un comparateur (160) pour fournir la position de modulation ( $\hat{m}_\ell$ ) correspondant à la valeur d'énergie sommée la plus élevée.

10                   **8.** Système MIMO selon la revendication 5, caractérisé en ce que les symboles d'information appartiennent à un alphabet de modulation OOK, et que ledit photodétecteur (230) est suivi par un intégrateur (240) adapté à fournir une valeur d'énergie du signal  
15 reçu sur un temps symbole, ladite valeur d'énergie étant comparée à un seuil prédéterminé dans un comparateur (260) pour fournir une estimation du symbole d'information ( $\hat{s}$ ) reçu pendant le temps symbole.

20                   **9.** Système MIMO selon la revendication 5, caractérisé en ce que les symboles d'information appartiennent à un alphabet de modulation OOK, et que le récepteur (202) comprend une pluralité de  
25 photodétecteurs (230), chaque photodétecteur étant suivi par un intégrateur (240) adapté à fournir une valeur d'énergie du signal reçu sur un temps symbole, lesdites valeurs d'énergie étant sommées par un sommateur (250) et la valeur ainsi sommée étant  
30 comparée dans un comparateur (260) à un seuil

prédéterminé pour fournir une estimation du symbole d'information reçu ( $\hat{s}$ ) pendant le temps symbole.

1/3



**Fig. 1**

2/3

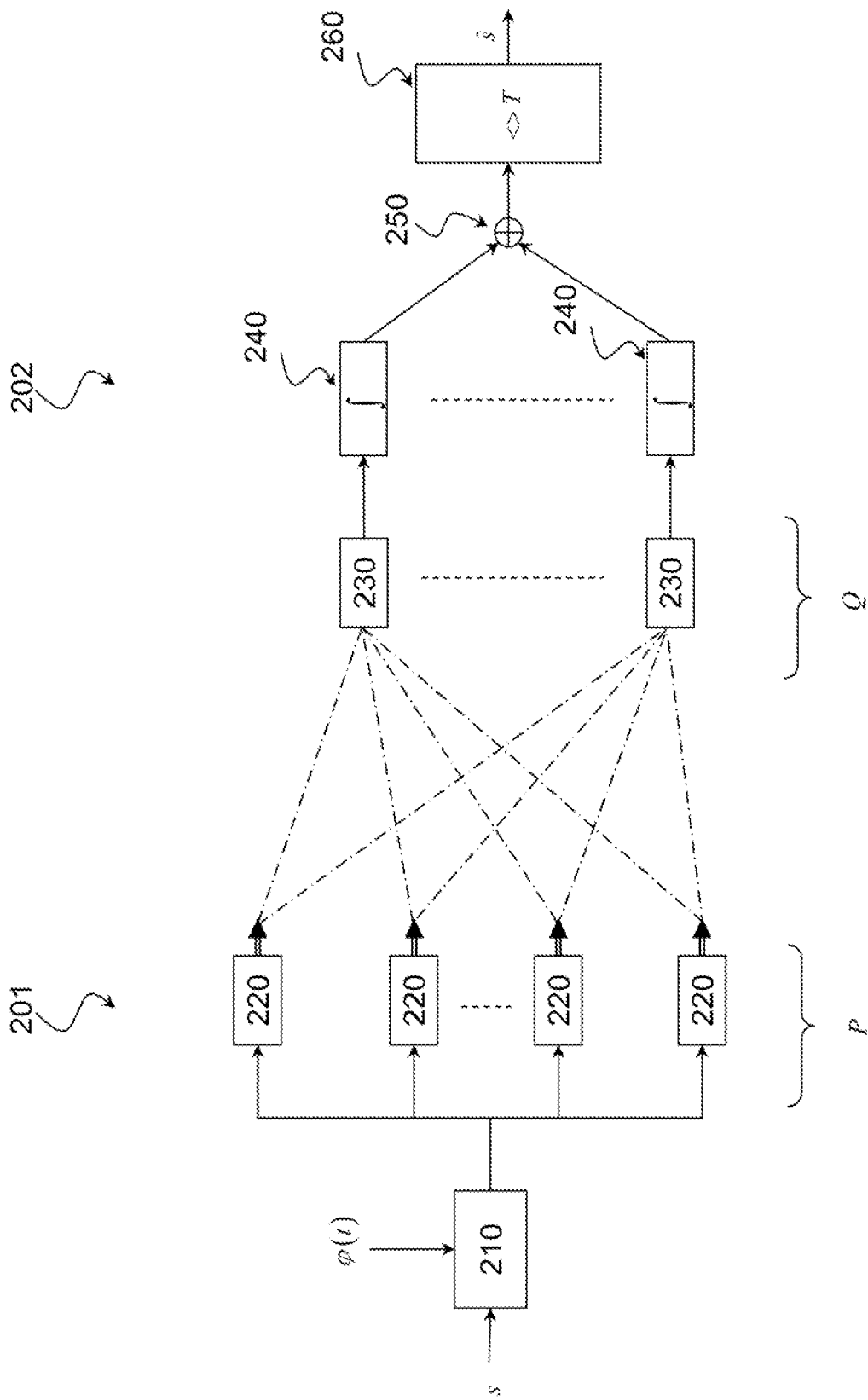
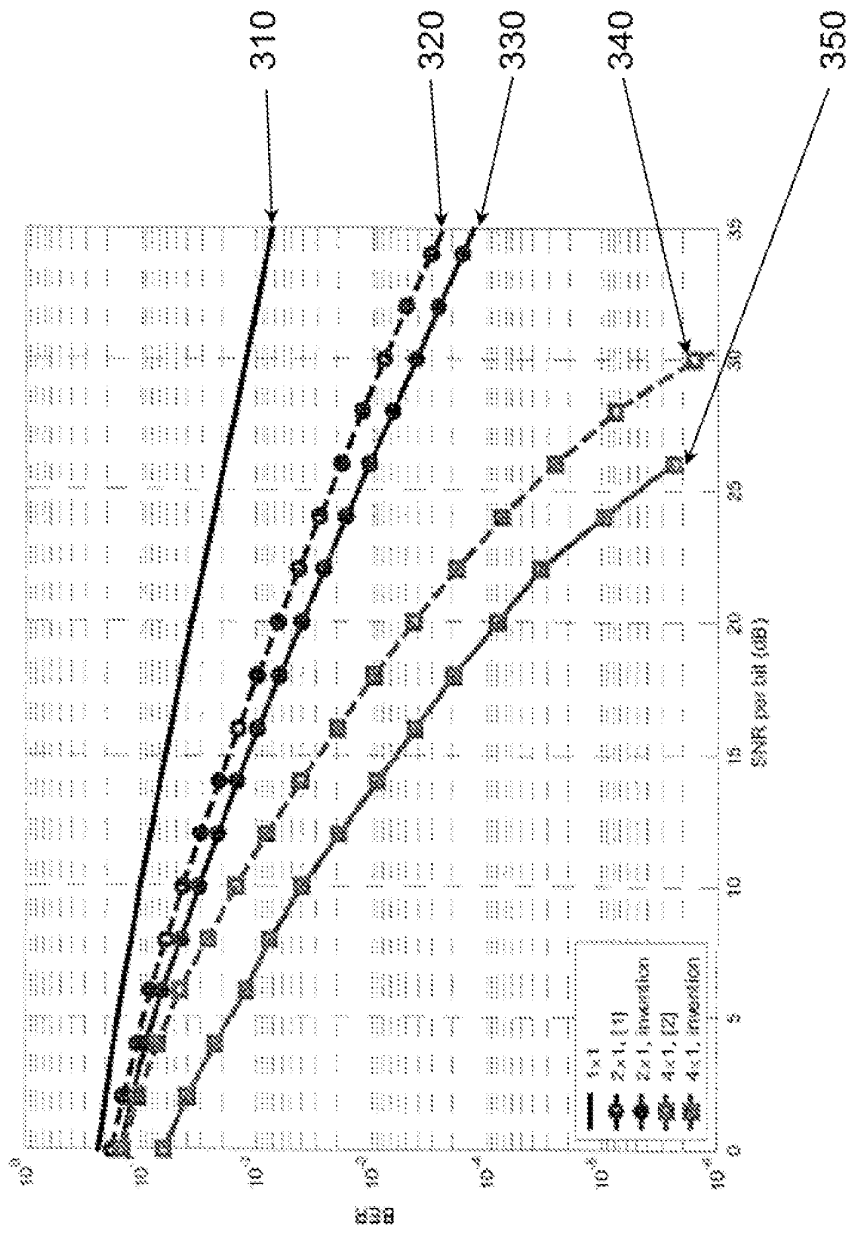


Fig. 2



**Fig. 3**



**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement national

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

FA 703671  
FR 0850597

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	<p>WILSON S.G. ET AL: "Free-space optical MIMO transmission with Q-ary PPM" IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, vol. 53, no. 8, 8 août 2005 (2005-08-08), pages 1402-1412, XP002496711</p> <p>* abrégé *</p> <p>* page 1402, colonne de droite, ligne 5 - ligne 20 *</p> <p>* page 1403, colonne de gauche, alinéa 3 *</p> <p>* page 1403, colonne de droite, alinéa 2 *</p> <p>* page 1404, colonne de gauche, alinéa 1 *</p> <p>* page 1405, colonne de droite, alinéa 2 *</p>	1-7	H04B10/10
Y	<p>* figure 1 *</p> <p>-----</p>	8,9	
Y	<p>DJORDJEVIC I.B. ET AL: "LDPC coded OFDM over the atmospheric turbulence channel" OPTICS EXPRESS, vol. 15, no. 10, 14 mai 2007 (2007-05-14), pages 6336-6350, XP002496712</p> <p>* abrégé *</p> <p>* figure 6 *</p> <p>-----</p>	8,9	
A	<p>DJORDJEVIC I.B. ET AL: "Multilevel coding in free-space optical MIMO transmission with Q-ary PPM over the atmospheric turbulence channel" IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, vol. 18, no. 14, 15 juillet 2006 (2006-07-15), pages 1491-1493, XP002496713</p> <p>* le document en entier *</p> <p>-----</p>	1-9	<p>DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)</p> <p>H04B</p>
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
22 septembre 2008		Ribbe, Åsa	
<p>CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul</p> <p>Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie</p> <p>A : arrière-plan technologique</p> <p>O : divulgation non-écrite</p> <p>P : document intercalaire</p>		<p>T : théorie ou principe à la base de l'invention</p> <p>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.</p> <p>D : cité dans la demande</p> <p>L : cité pour d'autres raisons</p> <p>.....</p> <p>&amp; : membre de la même famille, document correspondant</p>	