(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
26 juin 2025 (26.06.2025)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2025/132969 A1

(51) Classification internationale des brevets :
H04L 5/02 (2006.01) *H04L 27/233* (2006.01)
H04L 25/03 (2006.01) *H04L 27/26* (2006.01)
H04L 25/06 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2024/087674

(22) Date de dépôt international :
19 décembre 2024 (19.12.2024)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
FR2314780 21 décembre 2023 (21.12.2023) FR

(71) Déposant : **ORANGE** [FR/FR] ; 111, quai du Président Roosevelt, 92130 Issy-les-Moulineaux (FR).

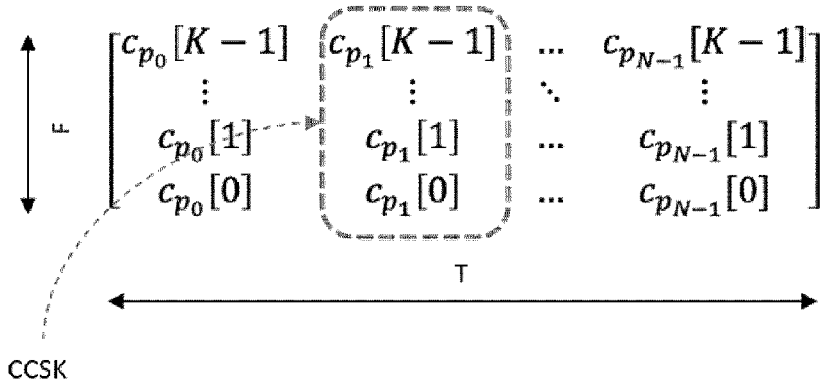
(72) Inventeurs : **LARUE, Guillaume** ; ORANGE - Intellectual Property and Licensing, Orange Gardens - 44 Avenue de la République - CS 50010, 92326 Chatillon (FR). **DUFRENE, Louis Adrien** ; ORANGE - Intellectual Property and Licensing, Orange Gardens - 44 Avenue de la République - CS 50010, 92326 Chatillon (FR). **LAMPIN, Quentin** ; ORANGE - Intellectual Property and Licensing, Orange Gardens - 44 Avenue de la République - CS 50010, 92326 Chatillon (FR).

(81) États désignés *(sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible)* : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,

(54) **Title:** METHODS, DEVICES AND PROGRAMS FOR DEMODULATING A DATA FRAME

(54) **Titre :** PROCÉDÉS, DISPOSITIFS ET PROGRAMMES DE DÉMODULATION D'UNE TRAME DE DONNÉES

[Fig. 2]



(57) **Abstract:** The invention relates to a method for demodulating a data frame comprising N information words [P_0.. P_{N-1}], in which a word p_i occupying a position i # [0, N — 1] in the frame is modulated by a symbol C_{pi} from a dictionary of K symbols, wherein the method comprises the steps of determining (301), for a plurality of symbols C_{Pi} and C_{Pj} of the frame, where i,j # [0, N — 1], a vector of K probabilities $P_{i/j}$, referred to as the relative distribution, comprising probabilities associated with K possible values of an estimated difference between the symbols C_{Pi} and C_{Pj}}; combining (303) a relative distribution $P_{i/j}$ with a particular probability distribution $mask_{i/j}$ determined (302) according to a characteristic of the channel; and demodulating (304) the frame on the basis of at least one portion of the combined distributions.

(57) **Abrégé :** L'invention concerne un procédé de démodulation d'une trame de données comprenant N mots d'information [P_0..

[Suite sur la page suivante]

WO 2025/132969 A1

HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés *(sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible)* : ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée:

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

— *en noir et blanc ; la demande internationale telle que déposée était en couleur ou en échelle de gris et est disponible sur PATENTSCOPE pour téléchargement.*

P_{N-1}] dans lequel un mot p_i occupant une position *i* # [0, *N* — 1] dans la trame est modulé par un symbole C_{pi} d'un dictionnaire de K symboles, le procédé comprenant les étapes de détermination (301), pour une pluralité de symboles C_{Pi} et C_{Pj} de la trame, avec i,j # [0, N — 1], d'un vecteur de K probabilités $P_{i/j}$, dit distribution relative,, comprenant des probabilités associées à K valeurs possibles d'une différence estimée entre les symboles C_{Pi} et C_{Pj}, de combinaison (303) d'une distribution relative $P_{i/j}$ avec une distribution de probabilité particulière $mask_{i/j}$ déterminée (302) selon une caractéristique du canal, et de démodulation (304) de la trame à partir d'au moins une partie des distributions combinées.

DESCRIPTION

Titre : Procédés, dispositifs et programmes de démodulation d'une trame de données

Domaine technique

L'invention appartient généralement au domaine des télécommunications et concerne plus particulièrement une technique de modulation permettant d'améliorer les performances de démodulation d'une trame de données, notamment dans les systèmes de communication qui s'appuient sur une représentation relative de l'information en vue de sa transmission et/ou de son traitement.

Art antérieur

On connait des systèmes de communication s'appuyant sur une représentation relative de l'information en vue de sa transmission et/ou de son traitement. Un exemple courant est l'utilisation de modulations différentielles.

Considérons par exemple une trame de 5 symboles $[x_0, x_1, x_2, x_3, x_4]$, encodant chacun k bits d'information, et pouvant ainsi prendre 2^k valeurs. Une représentation différentielle possible de la trame peut être $[x_{0/1}, x_{1/2}, x_{2/3}, x_{3/4}] = [x_0 - x_1, x_1 - x_2, x_2 - x_3, x_4 - x_3]$. Dans cet exemple, c'est donc la différence entre les valeurs qui est codée, et il suffit d'une unique référence absolue pour décoder la trame complète. Bien entendu, dans une telle configuration, la soustraction, ou tout autre opération, se fait dans le corps fini considéré, ici F_k (c.a.d. modulo k).

Une telle représentation peut être utilisée à des fins de transmission ou de traitement du signal au sein de la chaine de communication. Par exemple, lorsque les variations entre échantillons consécutifs sont faibles, transmettre des différences entre échantillon peut s'avérer particulièrement efficace.

Une telle représentation différentielle de la trame peut également s'avérer utile dans certains récepteurs, par exemple lors de la réception d'un signal modulé par la rotation cyclique d'une

séquence racine de symboles complexes, comme une modulation CCSK (pour Cyclic Code-Shift Keying en anglais).

La modulation CCSK propose de moduler les données à transmettre par la rotation/décalage cyclique d'une séquence de symboles complexes dite séquence racine. La séquence racine est telle que ses versions décalées sont orthogonales entre elles, c'est-à-dire qu'elle offre une bonne fonction d'autocorrélation. Ainsi, on associe à chaque mot binaire à transmettre un décalage cyclique particulier d'une même séquence racine.

Par exemple, en choisissant une séquence racine composée des 4 symboles complexes [a ; b ; c ; d], la modulation CCSK permet de moduler 2 bits d'information de manière orthogonale via les rotations de cette séquence. Le mot binaire '00' pourra correspondre à la transmission de la séquence [a ; b ; c ; d] ; le mot binaire '01' pourra correspondre à la transmission de la séquence [d ; a ; b ; c] ; le mot binaire '10' pourra correspondre à la transmission de la séquence [c ; d ; a ; b], etc.

Les séquences CCSK peuvent avantageusement être transmises dans une trame CP-OFDM (pour Cylic Prefix Orthogonal Frequency Division Multiplex en anglais), par exemple dans une trame temps-fréquence dans laquelle chacun des N pas de temps contient une séquence CCSK complète de taille K repartie sur l'ensemble des sous-porteuse en fréquence comme on l'a représenté sur la figure 1.

La connaissance par le récepteur du décalage absolu d'une séquence particulière de la trame permet la démodulation de toute la trame. Par exemple lorsque le décalage de la première séquence est connu, par exemple lorsqu'une séquence particulière est présente en début de trame par convention, le récepteur peut démoduler la trame en estimant les décalages des autres séquences par rapport à la séquence connue.

Il est ainsi nécessaire de disposer d'une bonne connaissance des différences entre les séquences d'une même trame pour démoduler correctement les données. Il arrive cependant que des perturbations n'affectent pas de la même manière les symboles transmis dans une même trame, ce qui peut occasionner des problèmes lors de sa démodulation. En effet, dans certaines circonstances, le système de communication peut subir des variations du canal de communication au cours du temps. C'est par exemple le cas en présence d'effet Doppler dû à un déplacement relatif entre le récepteur et l'émetteur. Cette évolution du canal est d'autant

plus rapide que la vitesse relative émetteur-récepteur est importante. Un exemple typique est le cas des communications par satellite, dans lequel les vitesses relatives considérées peuvent être particulièrement importantes.

Il existe donc un besoin pour une méthode qui permette d'améliorer les performances de démodulation lorsque le canal subit des perturbations affectant de manière différente les symboles d'une même trame, par exemple lorsque ces perturbations varient au cours du temps, notamment lorsque la communication s'appuie sur une représentation relative de l'information.

Résumé de l'invention

A cet effet, il est proposé un procédé de démodulation d'une trame de données comprenant N mots d'information $[p_0 \,..\, p_{N-1}]$ dans lequel un mot p_i occupant une position $i \in [0, N-1]$ dans la trame est modulé par un symbole C_{pi} d'un dictionnaire de K symboles, le procédé comprenant les étapes suivantes :

- Détermination, pour une pluralité de symboles C_{Pi} et C_{Pj} de la trame, avec $i, j \in [0, N-1]$, d'un vecteur de K probabilités $P_{i/j}$, dit distribution relative, comprenant des probabilités respectivement associées à K valeurs possibles d'une différence estimée entre les symboles C_{Pi} et C_{Pj},
- Combinaison d'une distribution relative $P_{i/j}$ avec une distribution de probabilité particulière $\mathrm{mask}_{i/j}$ déterminée selon une caractéristique du canal de communication,
- Démodulation de la trame à partir d'au moins une partie des distributions combinées.

L'opération de différence entre symboles dont il est question dans ce document dépend de la technique de modulation utilisée. Dans le cas d'une modulation CCSK, une telle différence correspond par exemple à la valeur d'un décalage cyclique de la séquence considérée par rapport à une autre séquence. Dans le cas d'une modulation QPSK, l'opérateur de différence est adapté pour estimer des décalages de phases ou d'angles. La différence entre symboles peut également correspondre à une différence entre des valeurs index associées aux symboles

dans un dictionnaire de symbole, suivant un système d'indexage égal au set {0, 1, ..., K-1} à un isomorphisme près, et de leurs probabilités respectives. La différence est ainsi estimée dans un groupe fini de taille K, c'est-à-dire *modulo* la cardinalité du dictionnaire de symboles lorsqu'on suppose un indexage sous la forme {0, 1, ..., K-1}.

On rappelle ici qu'un groupe, au sens mathématique du terme, est un ensemble muni d'une loi de composition interne unique qui est associative, possédant un élément neutre. Un groupe fini est un groupe dont le nombre d'éléments est fini.

Une distribution relative $P_{i/j}$ représente une probabilité de la valeur relative du symbole C_{Pi} par rapport au symbole C_{Pj}, sachant le canal estimé à l'aide du symbole C_{Pj} (et vice versa). Ainsi, lorsque le canal varie au cours du temps, par exemple en présence de Doppler, et que les distributions $P_{i/j}$ sont affectées par la corrélation entre les canaux subits par C_{pi} et C_{pj}, alors pour des valeurs de i et j éloignées dans la trame OFDM, ces distributions ne sont pas forcément fiables.

Selon un autre exemple, en considérant des canaux constants dans le temps et plusieurs couches spatiales, par exemple dans un système MIMO (Multiple Input Multiple Output) utilisant du multiplexage spatial, le niveau de corrélation du canal entre différentes couches peut affecter l'estimation d'une différence entre symboles. Par exemple, dans un système utilisant 4 couches spatiales, on peut avoir la couche 1 et 4 légèrement corrélées et la couche 1 et 2 et 1 et 3 complètement décorrélées. La détermination et l'application d'un masque adapté permet de limiter l'influence des distributions $P_{i/j}$ peu fiables.

Le procédé propose ainsi de combiner des distributions de probabilité d'une différence entre symboles de la trame avec des distributions de masquage qui sont déterminées selon une caractéristique du canal dont dépend un niveau de confiance dans l'estimation des symboles ou des différences des symboles, de façon à ajuster l'effet de certaines distributions de probabilité sur le processus de démodulation.

Les distributions relatives ainsi filtrées, représentatives de probabilités de différence entre symboles, sont utilisées pour démoduler les mots d'information de la trame. Par exemple, lorsqu'un symbole de la trame est connu du récepteur, comme un symbole pilote, la connaissance des différences entre les symboles permet la démodulation de la trame complète. Le procédé permet de donner une importance variable aux distributions

représentatives de ces différences selon leur fiabilité. Les performances de démodulation sont ainsi améliorées.

Selon un mode particulier de réalisation, la démodulation de la trame est réalisée à partir d'au moins une distribution relative partielle $P_{i/j}^{(m)}$ déterminée par mise en relation d'une première distribution relative combinée déterminée à partir de symboles C_{Pi} et C_{Pm} avec une deuxième distribution relative combinée déterminée à partir d'un symbole C_{Pj} et du symbole C_{Pm} , avec $i, j \neq m$, et $m \in [0; N-1]$.

Il est ainsi proposé de déterminer des distributions relatives dites partielles $P_{i/j}^{(m)}$ à partir de distributions relatives masquées déterminées pour des symboles C_{Pi} et C_{Pm} d'une part, et d'autre part à partir de distributions relatives combinées déterminées pour les symboles C_{Pj} et C_{Pm}. Autrement dit, on détermine une différence entre un premier symbole et un deuxième symbole par transitivité, c'est-à-dire à partir d'une différence entre le premier symbole et un troisième symbole et d'une différence d'index entre le deuxième symbole et le même troisième symbole. On obtient ainsi une pluralité d'estimations de la différence d'index entre le premier et le deuxième symbole reposant sur différents symboles.

Les distributions relatives partielles $P_{i/j}^{(m)}$ déterminées pour une valeur m particulière sont ensuite combinées par produit afin d'obtenir une version consolidée d'une distribution relative $P_{i/j}$ dans laquelle les distributions jugées non fiables ont peu d'influence.

Dans une réalisation particulière, une distribution de probabilité particulière $\mathrm{mask}_{i/j}$ est déterminée selon niveau de fiabilité déterminé pour les symboles C_{Pi} et C_{Pj} et/ou un niveau de fiabilité déterminé pour la différence entre ces symboles.

Les distributions de masquage sont par exemple déterminées selon la fiabilité de l'estimation des symboles et/ou la fiabilité dans l'estimation d'un écart entre symboles. De cette manière, il est possible de déterminer une distribution de masquage particulière qui est configurée pour limiter l'influence des estimations non fiables et/ou donner plus d'importance dans une distribution combinée aux symboles et/ou aux différences entre symboles les plus fiables.

Selon un mode particulier de réalisation, une distribution relative $P_{i/j}$ est convoluée avec une distribution de Kronecker avec un pic en 0 (notée Kronecker[0]) lorsque le nombre de symboles qui séparent des symboles C_{Pi} et C_{Pj} dans la trame est inférieure à un seuil, et avec une distribution uniforme lorsque ce nombre est supérieure ou égal audit seuil, le seuil étant déterminé selon une caractéristique du canal de communication.

De cette façon, les différences entre symboles qui sont distants dans la trame ne sont pas prise en compte pour le processus de démodulation. En présence d'un effet Doppler par exemple, les symboles en début de trame et en fin de trame ne subissent pas le même canal car celui-ci varie au cours du temps. De cette façon, le procédé évite d'introduire ces estimations peu fiables dans le processus de démodulation. Le seuil à partir duquel les distributions relatives sont supprimées est défini selon une caractéristique du canal de communication.

Selon une réalisation particulière, une distribution relative $P_{i/j}$ est convoluée avec une distribution de probabilité $\mathrm{mask}_{i/j}$ intermédiaire entre une distribution de Kronecker $[0]$ et une distribution uniforme U telle que $\mathrm{mask}_{i/j} = \alpha_{i/j}\delta[0] + \left(1 - \alpha_{i/j}\right)U$, le paramètre $\alpha_{i/j}$ étant déterminé selon une caractéristique du canal du communication.

Une telle disposition permet d'ajuster finement le niveau de prise en considération d'une distribution $P_{i/j}$ particulière lors de l'étape de démodulation, selon le degré de confiance qu'on souhaite lui accorder.

Selon un mode de réalisation particulier, une distribution de probabilité $\mathrm{mask}_{i/j}$ est déterminée selon le nombre de symboles séparant les symboles C_{Pi} et C_{Pj} dans la trame et un niveau de variabilité temporelle du canal.

Lorsque le canal est subit des variations temporelles, par exemple dans le cas d'un effet Doppler, les symboles en début et en fin de trame ne sont pas affectés de la même manière, si bien qu'une différence estimée entre ces symboles peut s'avérer non fiable. En déterminant un masque qui tient compte à la fois de la distance séparant des couples de symboles dans la trame et d'un niveau de variabilité temporelle du canal, par exemple un niveau de Doppler,

on peut écarter les distributions de probabilité les moins pertinentes et améliorer ainsi les performances de démodulation.

Selon un mode particulier de réalisation, le procédé est tel qu'un symbole C_{Pi} est une séquence de valeurs complexes obtenue par application d'un décalage cyclique particulier à une séquence racine de taille K, une séquence C_{Pi} étant reçue sur K sous-porteuses d'un symbole OFDM.

L'information à transmettre est modulée par un décalage cyclique d'une séquence racine connue du récepteur. Il s'agit par exemple d'une modulation de type CCSK utilisant une séquence racine de type Zadoff-Chu.

Les séquences CCSK (ou symboles) sont intégrées dans une trame CP-OFDM de sorte que chaque élément composant une séquence CCSK, appelé bribe (ou « chip » en anglais) est transmis sur une sous-porteuse OFDM distincte. Dans sa forme la plus simple, on obtient alors une trame temps-fréquence dans laquelle chacun des N pas de temps contient un symbole CCSK complet de taille K reparti sur l'ensemble des sous-porteuses en fréquence, comme représenté sur la figure 1.

La séquence racine (et donc tous ses décalages cycliques) étant connue du récepteur, les séquences CCSK transmises peuvent alors servir de séquence pilotes pour la synchronisation et l'estimation du canal, tout en transportant de l'information.

Les différences calculées peuvent ainsi correspondre à des différences entre des index associés aux symboles ou des différences entre les décalages des séquences composant les symboles.

Selon un autre aspect, l'invention vise un dispositif de démodulation d'une trame de données comprenant une séquence de mots d'information $[p_0 \,..\, p_{N-1}]$ dans lequel un mot p_i occupant une position $i \in [0, N-1]$ dans la trame est modulé par un symbole C_{pi} d'un dictionnaire de K symboles, le dispositif comprenant un processeur couplé à une mémoire dans laquelle sont enregistrées des instructions de programme configurées pour mettre en œuvre les étapes suivantes :

- Détermination, pour une pluralité de symboles C_{Pi} et C_{Pj} de la trame, avec $i, j \in [0, N-1]$, d'un vecteur de K probabilités $P_{i/j}$, dit distribution relative, comprenant des probabilités respectivement associées à K valeurs possibles d'une différence estimée entre les symboles C_{Pi} et C_{Pj},
- Combinaison d'une distribution relative $P_{i/j}$ avec une distribution de probabilité particulière $\mathrm{mask}_{i/j}$ déterminée selon une caractéristique du canal de communication
- Démodulation de la trame à partir d'au moins une partie des distributions combinées.

L'invention concerne aussi un terminal de communication comprenant un dispositif de démodulation tel que décrit ci-dessus.

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

En conséquence, l'invention vise aussi un programme d'ordinateur comportant des instructions adaptées à la mise en œuvre des étapes d'un procédé de démodulation tel que décrit ci-dessus, lorsque le programme est exécuté par un processeur.

Ce programme peut utiliser n'importe quel langage de programmation, et être sous la forme de code source, code objet, ou de code intermédiaire entre code source et code objet, tel que dans une forme partiellement compilée, ou dans n'importe quelle autre forme souhaitable.

L'invention vise aussi un support d'information lisible par un ordinateur sur lequel est enregistré un programme d'ordinateur comprenant des instructions pour l'exécution des étapes d'un procédé de démodulation tel que décrit ci-dessus.

Le support d'informations peut être n'importe quelle entité ou dispositif capable de stocker le programme. Par exemple, le support peut comporter un moyen de stockage, tel qu'une ROM, par exemple un CD ROM ou une ROM de circuit microélectronique, une mémoire flash, ou encore un moyen d'enregistrement magnétique, comme un disque dur.

D'autre part, le support d'informations peut être un support transmissible tel qu'un signal électrique ou optique, qui peut être acheminé via un câble électrique ou optique, par radio ou par d'autres moyens. Le programme selon l'invention peut être en particulier téléchargé sur un réseau de type Internet.

Alternativement, le support d'informations peut être un circuit intégré dans lequel le programme est incorporé, le circuit étant adapté pour exécuter ou pour être utilisé dans l'exécution du procédé en question.

Les différents modes ou caractéristiques de réalisation précités peuvent être ajoutés indépendamment ou en combinaison les uns avec les autres, aux étapes du procédé de démodulation.

Les dispositifs, terminaux, programmes et supports d'information présentent des avantages analogues à ceux conférés par le procédé auquel ils correspondent.

Brève description des figures

D'autres caractéristiques et avantages apparaîtront à la lecture d'un mode de réalisation préféré décrit en référence aux dessins annexés parmi lesquels :

- La figure 1 représente un environnement adapté pour mettre en œuvre le procédé de démodulation selon une réalisation particulière,
- La figure 2 illustre une trame temps-fréquence dans laquelle chacun des N pas de temps contient un symbole complet de taille K reparti sur l'ensemble des sous-porteuse en fréquence,
- La figure 3 est un ordinogramme représentant les principales étapes d'un procédé de démodulation selon une réalisation particulière,
- La figure 4a est un graphique montrant un exemple de distribution relative,
- La figure 4b représente un graphique montrant une distribution de Kronecker[0],
- La figure 4c est un graphique illustrant une distribution relative résultant de la convolution des distributions représentées sur les figures 4a et 4b, selon une réalisation particulière,
- La figure 5a est un graphique montrant un exemple de distribution relative,
- La figure 5b représente un graphique montrant une distribution uniforme,
- La figure 5c est un graphique illustrant une distribution relative résultant de la convolution des distributions représentées sur les figures 5a et 5b, selon une réalisation particulière,
- La figure 6a est un graphique montrant un exemple de distribution relative,

- La figure 6b représente un graphique montrant une distribution de masquage intermédiaire entre une distribution de Kronecker[0] et une distribution uniforme,
- La figure 6c est un graphique illustrant une distribution relative résultant de la convolution des distributions représentées sur les figures 6a et 6b, selon un mode particulier de réalisation, et
- La figure 7 est un diagramme en bloc représentant l'architecture d'un dispositif adapté pour mettre en œuvre le procédé de démodulation dans un mode de réalisation particulier.

Description détaillée

Dans la description qui va suivre, des modes de réalisation sont décrits sur la base d'exemples non limitatifs permettant d'expliciter les concepts sur lesquels se base l'invention. En particulier, bien que les exemples et la terminologie employés peuvent se référer à certaines technologies ou standards bien connus, ces références ne sont pas limitatives et d'autres technologies peuvent être adaptées pour mettre en œuvre les concepts de l'invention. Par exemple, la technique de modulation CCSK à laquelle il est fait référence peut être remplacées par d'autres techniques de modulation, comme QPSK (Quadrature Phase Shift Keying, ou Modulation en quadrature de phase en français), ou QAM (Quadrature Amplitude Modulation, ou modulation d'amplitude en quadrature en français), sans qu'il soit nécessaire de modifier l'invention.

La figure 1 représente un environnement adapté pour mettre en œuvre le procédé de démodulation selon une réalisation particulière.

L'environnement comprend un système de communication 100, comprenant un dispositif de transmission 101 et un dispositif de réception 102. Le dispositif de transmission 101 est par exemple un terminal de communication, un équipement utilisateur (UE, pour User Equipment en anglais), une station de base, un objet connecté, un satellite de télécommunication, etc... Le dispositif de réception 101, par exemple un équipement utilisateur, un terminal, un véhicule ou un objet connecté, ou tout autre dispositif adapté pour recevoir des données sans fil.

Les dispositifs 101 et 102 comprennent des moyens de communication radiofréquence, par exemple un transceiver adapté pour permettre aux dispositifs 101 et 102 de communiquer en échangeant des trames de données temps-fréquence, par exemple des trames CP-OFDM.

Dans un mode de réalisation particulier, de telles trames comprennent une pluralité de mots d'information, par exemple des mots binaires de taille p bits, qui sont modulés par un symbole CCSK, c'est-à-dire par une séquence particulière de valeurs complexes obtenues par décalage cyclique d'une séquence racine de taille 2^p qui présente une bonne fonction d'autocorrélation. Une telle séquence, par exemple une séquence Zadof-Chu.

Ainsi, le système de communication 100 met en œuvre une modulation CCSK-CP-OFDM. L'approche CCSK-CP-OFDM combine la technique CP-OFDM avec la modulation CCSK dans l'optique de réaliser des communications de paquets de petites tailles pour l'IoT, avec une efficience énergétique élevée. On peut cependant noter que d'autres techniques de modulation peuvent être envisagés sans modifier l'invention, comme indiqué plus haut.

La figure 2 représente un exemple de trame CCSK-CP-OFDM dans laquelle chacun des N pas de temps contient une séquence CCSK complète de taille $K = 2^p$ repartie sur l'ensemble des K sous-porteuse en fréquence, de sorte que chaque symbole peut coder un mot de taille p bits.

L'ensemble des K séquences CCSK constitue un dictionnaire de symboles de cardinalité K.

Dans une réalisation particulière, chaque symbole du dictionnaire est associé à un index distinct de sorte que les K symboles du dictionnaire sont respectivement associés à K valeurs d'index. Dans le cas d'une modulation CCSK, chaque séquence CCSK du dictionnaire peut ainsi être associée à une valeur numérique unique représentative du décalage de la séquence par rapport à la séquence racine.

Selon une réalisation particulière, les K valeurs d'index auxquelles sont associés les symboles du dictionnaire constituent un groupe fini H de taille K, muni d'une loi d'addition admettant 0 comme élément neutre, de sorte que chaque symbole du dictionnaire est associé à une valeur distincte appartenant au groupe fini H.

Les opérations sur les index, en particulier les sommes et différences, sont ainsi réalisées *modulo* la cardinalité K du dictionnaire de symboles lorsqu'on suppose un indexage sous la forme {0, 1, ..., K-1}, de sorte que toute différence (ou somme) modulo K entre des éléments de l'ensemble est également une valeur appartenant à l'ensemble.

Dans une réalisation particulière, les valeurs d'index sont définies par le groupe $m\mathbb{Z}/mK\mathbb{Z}$, en considérant une arithmétique modulaire sur les restes de la division par mK et m un entier strictement positif, $\mathbb{Z}$ étant l'ensemble des entiers relatifs.

Par exemple, avec $m = 2$ et $K = 4$, on obtient un ensemble d'index [0, 2, 4, 6] tel que toute différence (ou somme) modulo mK entre des éléments de l'ensemble est également une valeur appartenant à l'ensemble. Ainsi, dans cet exemple, on observe effectivement que 0 – 2 = -2 [8] = 6, 0 - 4 = -4 [8] = 4, 2 – 4 = -2 [8] = 6, etc...

Une réalisation particulière du procédé de démodulation va maintenant être décrit en référence à la figure 3. Le procédé est par exemple mis en œuvre par le dispositif 102 de la figure 1.

Lors d'une première **étape 300**, le dispositif 102 reçoit une trame de données CCSK-CP-OFDM comprenant N mots d'information $[P_0 \,..\, P_{N-1}]$ dans lequel un mot P_i occupant une position $i \in [0, N-1]$ dans la trame est modulé par une séquence CCSK C_{pi} d'un dictionnaire de K séquences. Ainsi, pour chaque symbole $\mathrm{C_{Pi}}$ à une position i dans la trame, et pour chaque symbole $\mathrm{C_k}$ du dictionnaire $(\mathrm{C_1}, \mathrm{C_2}, \ldots, \mathrm{C_K})$, on détermine un vecteur de probabilités $\mathrm{P}(\mathrm{C_{Pi}} = \mathrm{C_k})$, dans lequel $\mathrm{P}(\mathrm{C_{Pi}} = \mathrm{C_k})$ est la probabilité que le symbole à la position i soit le symbole $\mathrm{C_k}$. Une telle distribution est par exemple déterminée de façon classique par des opérations de corrélation croisée du symbole à la position i avec les différents symboles du dictionnaire.

A **l'étape 301**, le dispositif 102 détermine des distributions de symboles dites relatives à partir des distributions de symboles déterminées à **l'étape 300**.

Chaque symbole C_{Pi}de la trame étant représenté par une distribution de probabilité de symbole pouvant être assimilée à une variable aléatoire X_i, la différence entre deux symboles C_{Pi} et C_{Pj} de la trame est, au sens de la présente invention, une variable aléatoire

différentielle $Y_{i,j} = X_i - X_j \in F_K$ dont la distribution, dite distribution relative, est notée $\mathcal{D}_{i/j}$.

Considérons par exemple une trame de symboles comme une séquence de variables aléatoires discrètes $X = [X_1 \quad X_2 \quad \dots \quad X_{N-1}] \in F_K^N$ de loi de distribution $\mathcal{D}_X = [\mathcal{D}_{X_1} \quad \mathcal{D}_{X_2} \quad \dots \quad \mathcal{D}_{X_{N-1}}]$. Il est possible d'exprimer la matrice contenant l'ensemble des variables aléatoires différentielles $Y \in F_K^{N\times N}$ tel que $Y_{i,j} = X_i - X_j \in F_K$ et la matrice des distributions correspondantes $\mathcal{D}_Y$ tel que $\mathcal{D}_{Y_{i,j}} = \mathcal{D}_{X_i} \circledast \mathcal{D}_{X_j}$ où $\circledast$ est l'opérateur de corrélation croisée. Au vu de la similarité des notions de somme et de différence dans le contexte d'une arithmétique modulaire dans un corps fini, on peut également définir la matrice contenant l'ensemble des variables aléatoires $Y \in F_K^{N\times N}$ tel que $Y_{i,j} = X_i + X_j \in F_K$ et la matrice des distributions correspondantes $\mathcal{D}_Y$ tel que $\mathcal{D}_{Y_{i,j}} = \mathcal{D}_{X_i} * \mathcal{D}_{X_j}$ où $*$ est cette fois l'opérateur de convolution. On note dans ce document « Distribution relative $\mathcal{D}_{i/j}$» la distribution de la variable aléatoire issue de la différence (ou de la somme) des deux variables aléatoires X_i et X_j.

Une distribution relative représente des probabilités de différences entre des couples de symboles reçus dans la trame. Ces distributions relatives sont déterminées pour tous les couples de symboles (C_{pi}, C_{pj}) de la trame, $i, j \in [0, N-1]$, par des opérations de corrélation croisée ou de convolution. Plus exactement, une différence entre un symbole C_{pi} et un symbole C_{pj} est déterminée en mettant en relation ces symboles par corrélation croisée ou convolution. Cette différence correspond par exemple à la valeur d'un décalage entre deux séquences CCSK de la trame. Ainsi, pour chaque couple de symbole (C_{pi}, C_{pj}), on détermine un vecteur $P_{i/j}$ dont la taille est égale à la cardinalité K du dictionnaire de symbole, et dont chaque élément $P_{i/j}[u]$ comprend une probabilité que le décalage relatif entre les symboles C_{pi} et C_{pj} est de valeur u.

Ces distributions relatives permettent d'obtenir une matrice de distributions relatives dans laquelle un élément de coordonnées (i, j) est une distribution relative $P_{i/j}$:

$$P = \begin{bmatrix} P_{0/0} & \cdots & P_{N-1/0} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{0/N-1} & \cdots & P_{N-1/N-1} \end{bmatrix}$$

Selon un mode particulier de réalisation, les K symboles du dictionnaire sont associés à K valeurs d'index distinctes d'un groupe fini d'ordre K, de sorte que les différences entre les symboles sont exprimées par des différences entre les index qui leur sont associés.

Le procédé comprend une **étape 302** de détermination d'une matrice de masquage de dimensions $N * N$ dans laquelle un élément $(i;\ j)\ i,j\ \in [0, N-1]$ est une distribution de Kronecker $[0]$, une distribution uniforme Kronecker U ou une distribution intermédiaire entre une distribution de Kronecker et une distribution uniforme, une distribution particulière étant sélectionné selon un niveau de fiabilité accordé à la différence entre les symboles C_{Pi} et C_{Pj} dans la trame. Par exemple, le dispositif 102 peut obtenir un taux d'erreur de transmission associé à un symbole C_{Pi} et un taux d'erreur de transmission associé à un symbole C_{Pj}, et déterminer une distribution $\mathrm{mask}_{i/j}$ selon les taux d'erreurs obtenus, de sorte que plus le taux d'erreur est faible, plus la distribution s'apparente à une distribution de Kronecker $[0]$, et plus le taux d'erreur est important, plus la distribution s'apparente à une distribution uniforme.

Selon un mode particulier de réalisation, chaque élément $(i;\ j)\ i,j\ \in [0, N-1]$ de la matrice de masquage est déterminé selon la position relative des symboles C_{Pi} et C_{Pj} dans la trame et selon un niveau de variabilité temporelle du canal. En effet, dans certaines conditions, notamment lorsque le canal subit des variations temporelles (comme un effet Doppler), la fiabilité de la distribution relative peut être inversement proportionnelle à l'espacement des symboles C_{Pi} et C_{Pj} dans la trame.

Selon un mode particulier de réalisation, un élément $(i;\ j)\ i,j\ \in [0, N-1]$ de la matrice de masquage est une distribution $\mathrm{mask}_{i/j}$ qui est une distribution de Kronecker $[0]$ lorsque le nombre de symboles qui séparent des symboles C_{Pi} et C_{Pj} dans la trame est inférieur à un seuil, et une distribution uniforme U lorsque la différence est supérieure ou égale audit seuil, le seuil étant déterminé selon une caractéristique du canal de communication.

Selon une réalisation particulière, un élément $(i; j)$ $i, j \in [0, N-1]$ de la matrice de masquage est une distribution $\mathrm{mask}_{i/j}$ intermédiaire entre la distribution de Kronecker $[0]$ et la distribution uniforme U telle que $\mathrm{mask}_{i/j} = \alpha_{i/j}\delta[0] + (1-\alpha_{i/j})U$, le paramètre $\alpha_{i/j}$ étant déterminé selon le nombre de symboles séparant les symboles C_{Pi} et C_{Pj} dans la trame, et/ou selon une caractéristique du canal de communication, comme un niveau de variabilité temporelle du canal.

Différentes caractéristiques du canal de communication peuvent être prise en compte pour déterminer une ou plusieurs distributions de masquage. Il peut s'agir d'un niveau de variabilité temporelle du canal, mais pas seulement. Par exemple, dans le cas d'un système MIMO, certaines couches peuvent être particulièrement corrélées et d'autre non, de sorte que les symboles d'une trame peuvent être influencés différemment par le canal. Les distributions de masquage peuvent ainsi être déterminées selon un niveau de corrélation entre les couches d'un système MIMO. Le procédé comprend une **étape 303** au cours de laquelle la matrice des distributions relatives déterminée à **l'étape 301** est combinée par convolution avec une matrice de masquage déterminée à **l'étape 302**. Ainsi, chaque distribution relative $P_{i/j}$ est convoluée avec une distribution de masquage $\mathrm{mask}_{i/j}$ de façon à donner plus ou moins d'importance à la distribution $P_{i/j}$ selon la fiabilité des symboles C_{Pi} et C_{Pj}, ou une fiabilité associée à leur différence.

Le procédé comprend enfin une **étape 305** de démodulation au cours de laquelle au moins une partie des distributions relatives convoluées à **l'étape 304** est utilisée pour estimer la valeur d'un symbole à partir d'un autre pris pour référence.

Par exemple, la démodulation peut être réalisée à partir des probabilités de différences entre un symbole dont la valeur et l'emplacement dans la trame sont connu, par exemple un symbole pilote, et les autres symboles de la trame. La connaissance d'un symbole de référence et des probabilités de différences entre ce symbole et les autres symboles de la trame permet d'estimer la valeur de ces autres symboles.

Selon un autre exemple, la démodulation peut consister en une démodulation décalée à partir des distributions relatives consolidées. La démodulation décalée consiste à démoduler la trame en prenant pour référence une valeur de symbole arbitraire et d'effectuer un contrôle d'intégrité sur les mots d'information ainsi obtenus. Si le contrôle d'intégrité ne permet pas

de valider la trame, on effectue une nouvelle démodulation en prenant pour référence une autre valeur de symbole et on effectue un nouveau contrôle d'intégrité. Ces étapes sont répétées jusqu'à la validation de la trame par le contrôle d'intégrité.

Dans un mode de réalisation particulier, la démodulation est réalisée sur la base de distributions relatives recombinées, obtenues par mise en relation d'au moins une première distribution relative à laquelle un masque a été appliqué, déterminée à partir de symboles C_{Pi} et C_{Pm} avec une deuxième distribution relative masquée, déterminée à partir d'un symbole C_{Pj} et du symbole C_{Pm} , avec $i, j \neq m$, et $m \in [0; N-1]$.

Autrement dit, on détermine une différence entre un premier symbole et un deuxième symbole par transitivité, c'est-à-dire à partir d'une différence entre le premier symbole et un troisième symbole et d'une différence d'index entre le deuxième symbole et le même troisième symbole. On peut ainsi obtenir une pluralité de distributions relatives $P_{i/j}^{(m)}$ dites partielle, représentatives la différence entre le premier et le deuxième symbole, mais reposant sur différents symboles.

Les distributions relatives partielles $P_{i/j}^{(m)}$ déterminées pour une valeur m particulière sont ensuite combinées par produit afin d'obtenir une version consolidée d'une distribution relative $P_{i/j}$ sur la base desquelles se déroule l'étape de démodulation.

La figure 4a est un graphique montrant un exemple de distribution relative $P_{i/j} = [0.23, 0.1, 0.34, 0.1, 0.23]$ représentatif des probabilités de différence entre des symboles C_{Pi} et C_{Pj} d'une trame de données pour un dictionnaire de symbole de cardinalité K=5.

La figure 4b représente un graphique montrant une distribution de masquage $\mathrm{mask}_{i/j} = [1, 0, 0, 0, 0]$, soit une distribution de Kronecker $[0]$.

La figure 4c est un graphique illustrant le résultat de la convolution de la distribution $P_{i/j}$ de la figure 4a avec la distribution de masquage de la figure 4b. La distribution résultante est ainsi identique à la distribution originale de la figure 4a. Autrement dit, la convolution par la distribution de Kronecker $[0]$ n'affecte pas la distribution.

La figure 5a est un graphique montrant un exemple de distribution relative $P_{i/j} = [0.23, 0.1, 0.34, 0.1, 0.23]$ représentatif des probabilités de différence entre des symboles C_{Pi} et C_{Pj} d'une trame de données pour un dictionnaire de symbole de cardinalité K=5.

La figure 5b représente un graphique montrant une distribution de masquage $\mathrm{mask}_{i/j} = [1/5,$ 1/5, 1/5, 1/5, 1/5], soit une distribution uniforme. Une telle distribution est par exemple sélectionnée pour masquer des distributions relatives jugées peu fiables.

La figure 5c est un graphique illustrant le résultat de la convolution de la distribution $P_{i/j}$ de la figure 5a avec la distribution de masquage de la figure 5b. La distribution résultante est une distribution uniforme dont l'effet sur la démodulation sera neutre.

La figure 6a est un graphique montrant un exemple de distribution relative $P_{i/j} = [0.23, 0.1, 0.34, 0.1, 0.23]$ représentatif des probabilités de différence entre des symboles C_{Pi} et C_{Pj} d'une trame de données pour un dictionnaire de symbole de cardinalité K=5.

La figure 6b représente un graphique montrant une distribution de masquage $\mathrm{mask}_{i/j} = [0.6,$ 0.1, 0.1, 0.1, 0.1], soit une distribution intermédiaire entre une distribution de Kronecker $[0]$ et une distribution uniforme. Une telle distribution est par exemple sélectionnée pour masquer des distributions relatives dont la fiabilité est moyenne.

La figure 6c est un graphique illustrant le résultat de la convolution de la distribution $P_{i/j}$ de la figure 6a avec la distribution de masquage intermédiaire de la figure 6b. La distribution résultante est une distribution qui réduit l'écart entre les probabilités faibles et les probabilités élevées, de sorte que l'effet sur la démodulation est atténué.

Bien que le procédé soit décrit ici en référence à des lois discrètes, la présente proposition peut être généralisée à des loi continues, par exemple par approximation de la loi continue par une loi discrétisée, ou bien en modélisant les distributions par leurs paramètres (par exemple la moyenne μ et la variance σ comme paramètres d'une loi normale). Il convient alors d'exprimer la relation entre les paramètres des distributions relatives.

La figure 7 représente une architecture simplifiée d'un dispositif 700 adapté pour mettre en œuvre le procédé de démodulation selon un réalisation particulière.

Le dispositif 700 comprend un module de traitement de données comprenant un espace de stockage 701, par exemple une mémoire (MEM), une unité de traitement 702, équipée par exemple d'un microprocesseur (PROC), et pilotée par un programme d'ordinateur (PGR) 703 dont les instructions sont configurées pour mettre en œuvre le procédé de démodulation tel que décrit précédemment en relation avec la figure 3.

A l'initialisation, les instructions de code du programme d'ordinateur 703 sont par exemple chargées dans la mémoire 701 avant d'être exécutées par le processeur de l'unité de traitement 702. Le microprocesseur de l'unité de traitement 702 met en œuvre, selon les instructions du programme d'ordinateur 703, les étapes du procédé de démodulation décrit ci-avant en référence à la figure 3.

Pour cela, outre la mémoire 701 et le processeur 702, le dispositif comprend des moyens de communication 704, par exemple un transducteur OFDM adapté pour recevoir un signal sur une pluralité de porteuses orthogonales. Les moyens de communication 704 sont par exemple configurés par des instructions de programme d'ordinateur pour permettre la réception d'au moins d'une trame temps-fréquence dans laquelle chacun des N pas de temps contient un symbole complet de taille K, par exemple une séquence CCSK, réparti sur l'ensemble des sous-porteuse en fréquence, et démoduler les N symboles OFDM reçus.

Le dispositif 700 comprend également un module 705 de détermination d'une matrice comprenant un ensemble de distributions de probabilités, dites distributions relatives, chaque élément $P_{i/j}$ de la matrice étant un vecteur de K probabilités représentatif d'au moins une différence entre des symboles C_{Pi} et C_{Pj} d'une pluralité couples de symboles $(C_{Pi}\ ;\ C_{Pj})$ formés à partir des symboles composant une trame reçue par les moyens de communication 704, avec $i \in [0; N-1]$ et $j \in [0; N-1]$, une différence étant calculée selon une arithmétique modulaire. Le module 707 est par exemple mis en œuvre par des instructions de programme d'ordinateur configurées pour calculer une différence entre valeurs d'index associées à deux symboles de la trame par une opération de corrélation croisée et/ou de convolution et mémoriser le résultat de la différence entre les éléments d'un couple $(C_{Pi}\ ;\ C_{Pj})$ de séquences aux coordonnées $(i; j)$ dans la matrice.

La dispositif 700 comprend un module 706 de détermination d'une matrice de masquage comprenant un ensemble de distributions $\mathrm{mask}_{i/j}$ déterminées selon un niveau de fiabilité des symboles C_{Pi} et C_{Pj} et/ou un niveau de fiabilité de la différence entre ces symboles. Le module 706 peut être mis en œuvre par des instructions de programme configurées pour affecter une distribution de Kronecker $[0]$ à l'élément aux coordonnées (i ; j) de la matrice lorsque le nombre de symboles qui séparent des symboles C_{Pi} et C_{Pj} dans la trame est inférieur à un seuil, et une distribution uniforme U lorsque la différence est supérieure ou égale audit seuil, le seuil étant déterminé un niveau de variabilité temporelle du canal. Selon un mode particulier de réalisation, les instructions de programme sont configurées pour affecter à l'élément (i ; j) de la matrice une distribution intermédiaire entre la distribution de Kronecker $[0]$ et la distribution uniforme U telle que $\mathrm{mask}_{i/j} = \alpha_{i/j}\delta[0] + (1 - \alpha_{i/j})U$, le paramètre $\alpha_{i/j}$ étant déterminé selon le nombre de symboles séparant les symboles C_{Pi} et C_{Pj} dans la trame et un niveau de variabilité temporelle du canal.

Le dispositif 700 comprend également un module 707 de calcul d'une convolution de la matrice de distributions relatives déterminées par le module 705 avec la matrice de masquage déterminée par le module 706. Le module peut être mis en œuvre par des instructions de programme configurées pour calculer une telle convolution et produire une matrice de distribution relative convoluée dans laquelle l'importance des distributions est affecté par les distributions de masquage correspondantes.

Le dispositif 700 comprend enfin un module de démodulation 708 adapté pour démoduler les symboles transmis dans la trame reçue à partir des distributions relatives convoluées par le module 707. Par exemple, le module 708 est mis en œuvre par des instructions de programme adaptées pour réaliser une démodulation décalée de la trame de donnée en se basant sur les décalages relatifs convolués, par exemple à partir des décalages d'une ou plusieurs lignes particulières de la matrice convoluée. Selon un autre exemple, les instructions sont configurées pour démoduler les symboles de la trame à partir des différences entre ces symboles et un symbole de référence dont l'emplacement et la valeur sont connus.

Dans une réalisation particulière, le dispositif 700 est intégré dans terminal de communication, un objet connecté, un véhicule, une passerelle, un point d'accès, un satellite de communication ou encore une station de base.

REVENDICATIONS

1. Procédé de démodulation d'une trame de données comprenant N mots d'information $[p_0 \,..\, p_{N-1}]$ dans lequel un mot p_i occupant une position $i \in [0, N-1]$ dans la trame est modulé par un symbole C_{pi} d'un dictionnaire de K symboles, le procédé comprenant les étapes suivantes :
   - Détermination (301), pour une pluralité de symboles C_{Pi} et C_{Pj} de la trame, avec $i, j \in [0, N-1]$, d'un vecteur de K probabilités $P_{i/j}$, dit distribution relative, comprenant des probabilités associées à K valeurs possibles d'une différence estimée entre les symboles C_{Pi} et C_{Pj},
   - Combinaison (303) d'une distribution relative $P_{i/j}$ avec une distribution de probabilité particulière $\mathrm{mask}_{i/j}$ déterminée (302) selon une caractéristique du canal de communication,
   - Démodulation (304) de la trame à partir d'au moins une partie des distributions combinées.

2. Procédé selon la revendication 1 dans lequel la démodulation de la trame est réalisée à partir d'au moins une distribution relative partielle $P_{i/j}^{(m)}$ déterminée par mise en relation d'une première distribution relative combinée déterminée à partir de symboles C_{Pi} et C_{Pm} avec une deuxième distribution relative combinée déterminée à partir d'un symbole C_{Pj} et du symbole C_{Pm} , avec $i, j \neq m$, et $m \in [0; N-1]$.

3. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes dans lequel une distribution de probabilité particulière $\mathrm{mask}_{i/j}$ est déterminée selon niveau de fiabilité déterminé pour les symboles C_{Pi} et C_{Pj} et/ou un niveau de fiabilité déterminé pour la différence entre ces symboles.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes dans lequel une distribution relative $P_{i/j}$ est convoluée avec une distribution de Kronecker avec un pic en 0 lorsque le nombre de symboles qui séparent des symboles C_{Pi} et C_{Pj} dans la trame est inférieure à un seuil, et avec une distribution uniforme lorsque ce nombre est supérieur

ou égale au dit seuil, le seuil étant déterminé selon une caractéristique du canal de communication.

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3 dans lequel une distribution relative $P_{i/j}$ est convoluée avec une distribution de probabilité $\mathrm{mask}_{i/j}$ intermédiaire entre une distribution de Kronecker $[0]$ et une distribution uniforme U telle que $\mathrm{mask}_{i/j} = \alpha_{i/j}\delta[0] + (1-\alpha_{i/j})U$, le paramètre $\alpha_{i/j}$ étant déterminé selon une caractéristique du canal de communication.

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes dans lequel une distribution de probabilité $\mathrm{mask}_{i/j}$ est déterminée selon le nombre de symboles séparant les symboles C_{Pi} et C_{Pj} dans la trame et un niveau de variabilité temporelle du canal.

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes dans lequel le procédé est tel qu'un symbole C_{Pi} est une séquence de valeurs complexes obtenue par application d'un décalage cyclique particulier à une séquence racine de taille K, une séquence C_{Pi} étant reçue sur K sous-porteuses d'un symbole OFDM.

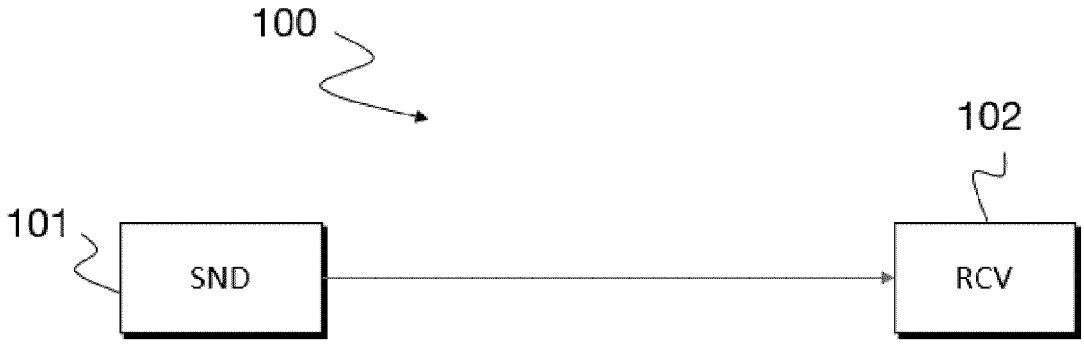
8. Dispositif de démodulation d'une trame de données comprenant N mots d'information $[p_0 \,..\, p_{N-1}]$ dans lequel un mot p_i occupant une position $i \in [0, N-1]$ dans la trame est modulé par un symbole C_{pi} d'un dictionnaire de K symboles, le dispositif comprenant un processeur (702) couplé à une mémoire (701) dans laquelle sont enregistrées des instructions de programme (703) configurées pour mettre en œuvre les étapes suivantes :
   - Détermination, pour une pluralité de symboles C_{Pi} et C_{Pj} de la trame, avec $i,j \in [0, N-1]$, d'un vecteur de K probabilités $P_{i/j}$, dit distribution relative, comprenant des probabilités associées à K valeurs possibles d'une différence estimée entre les symboles C_{Pi} et C_{Pj},
   - Combinaison d'une distribution relative $P_{i/j}$ avec une distribution de probabilité particulière $\mathrm{mask}_{i/j}$ déterminée selon une caractéristique du canal de communication,
   - Démodulation de la trame à partir d'au moins une partie des distributions combinées.

9. Terminal de communication comprenant un dispositif de démodulation selon la revendication 8.

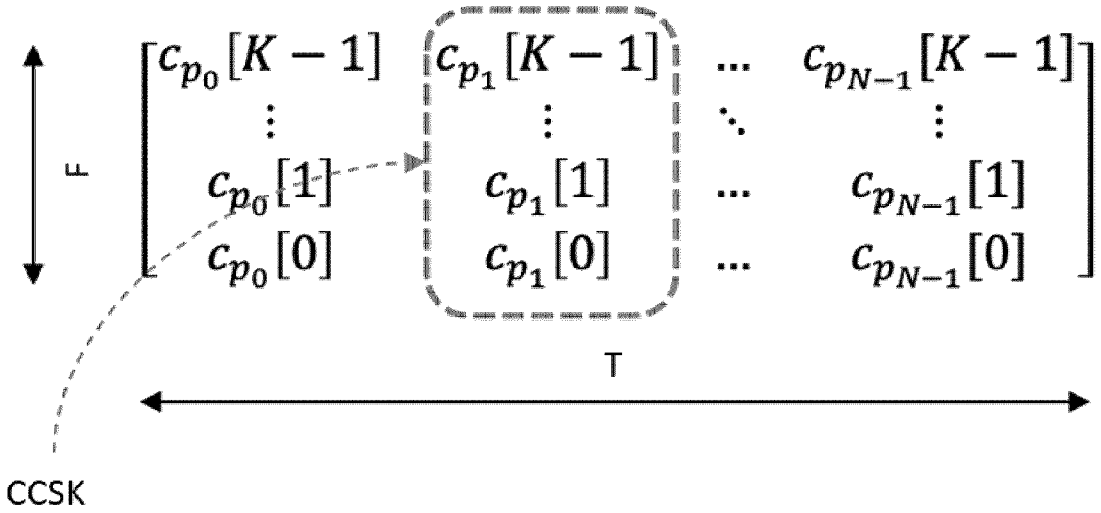
10. Programme d'ordinateur comprenant des instructions configurées pour mettre en œuvre un procédé de démodulation selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, lorsque les instructions sont exécutées par un processeur.

11. Support d'information lisible par un ordinateur sur lequel sont enregistrées des instructions configurées pour mettre en œuvre un procédé de démodulation selon l'une quelconque des revendications 1 à 7.

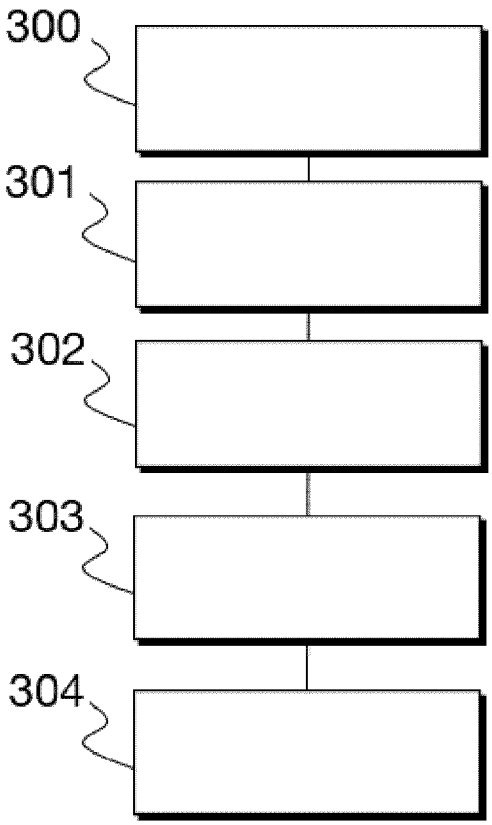
[Fig. 1]



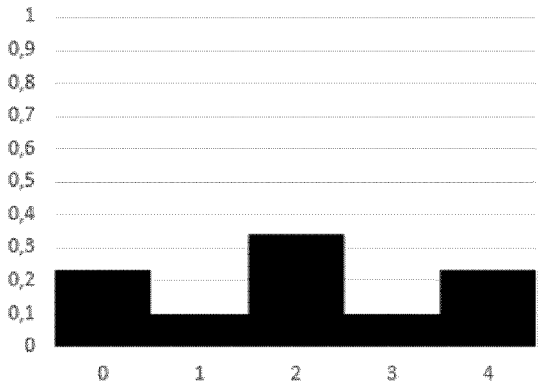
[Fig. 2]



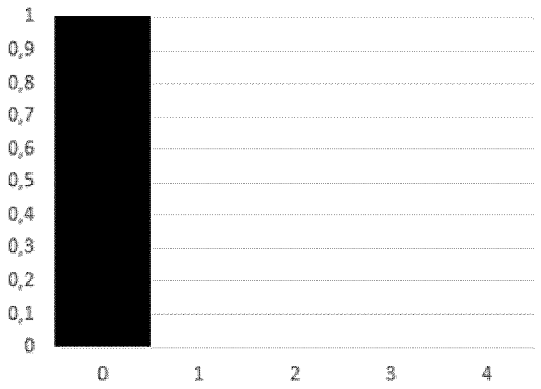
[Fig. 3]



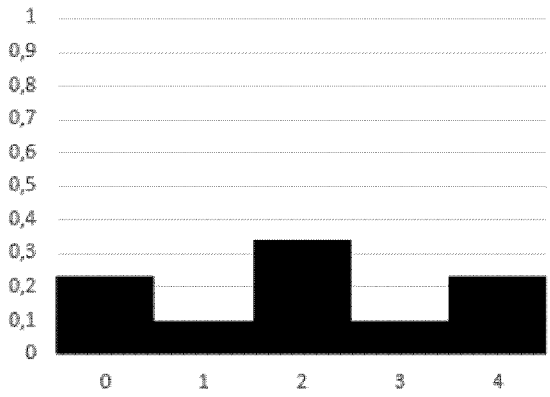
[Fig. 4a]



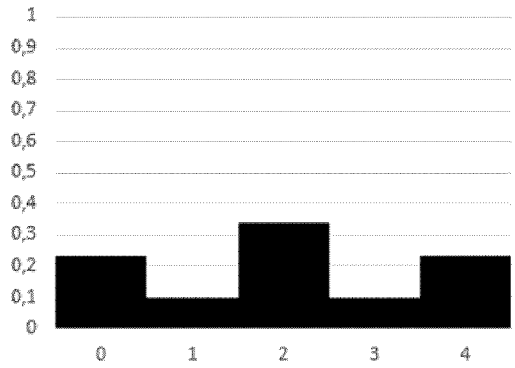
[Fig. 4b]



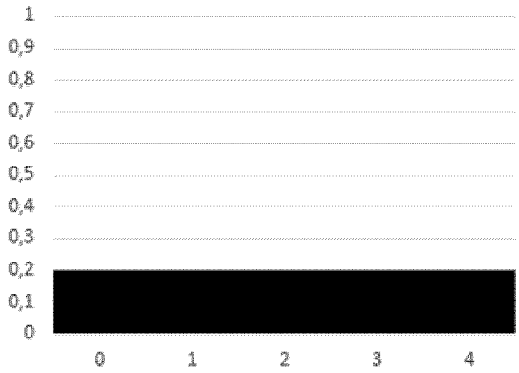
[Fig. 4c]



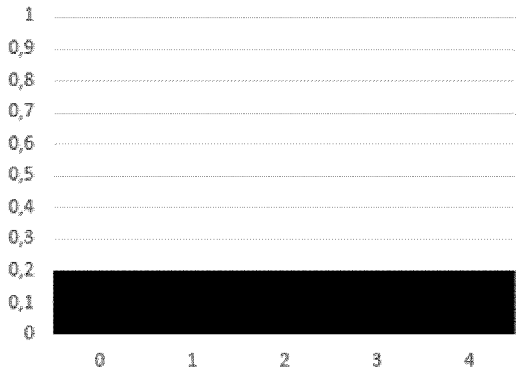
[Fig. 5a]



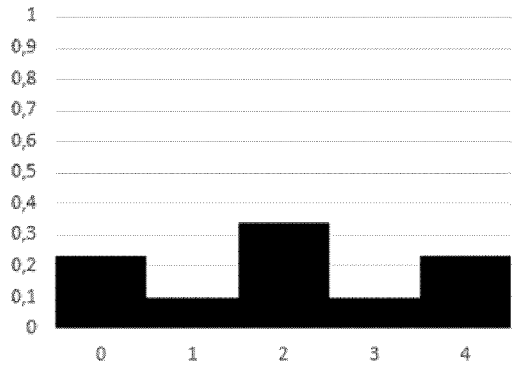
[Fig. 5b]



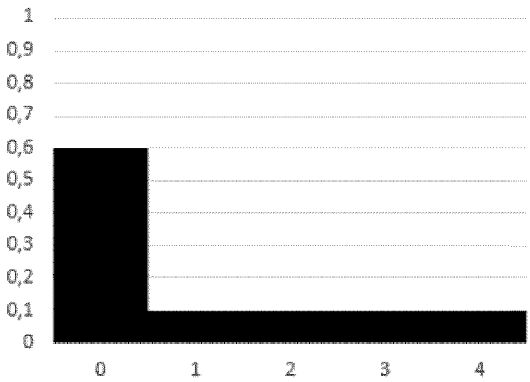
[Fig. 5c]



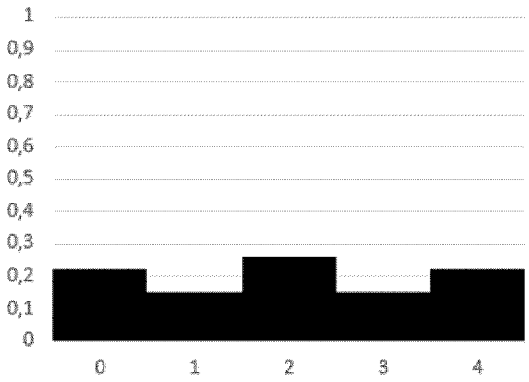
[Fig. 6a]



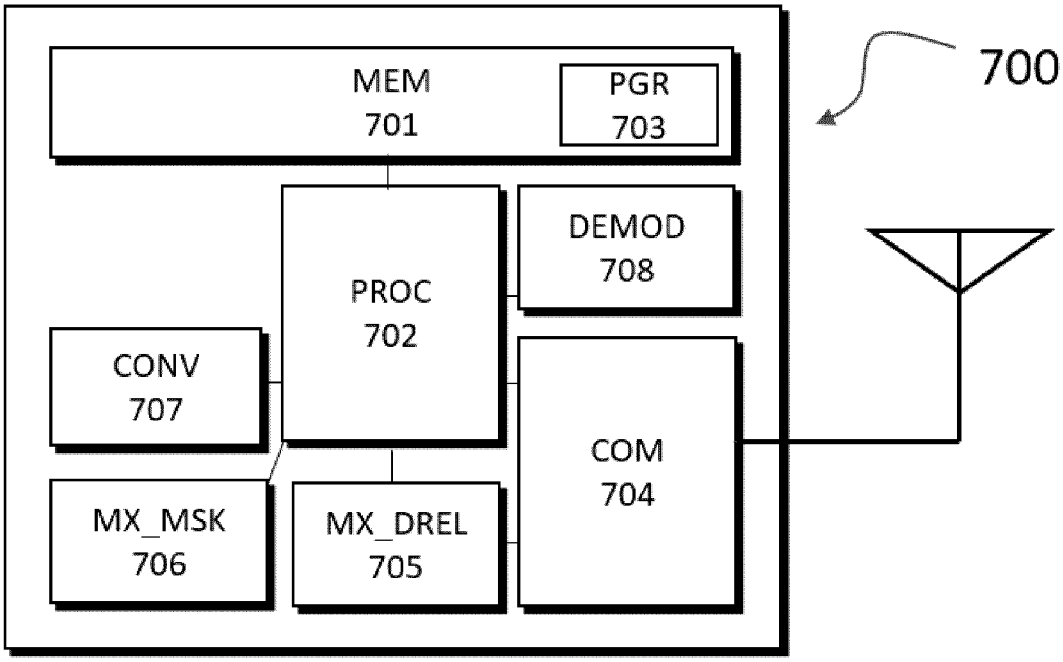
[Fig. 6b]



[Fig. 6c]



[Fig. 7]


700
MEM
701
PGR
703
DEMOD
708
PROC
702
CONV
707
COM
704
MX_MSK
706
MX_DREL
705

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/EP2024/087674

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04L 5/02(2006.01)i; ***H04L 25/03***(2006.01)i; ***H04L 25/06***(2006.01)i; ***H04L 27/233***(2006.01)i; ***H04L 27/26***(2006.01)i

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; H04J

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

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

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 2506516 A1 (ALCATEL LUCENT [FR]) 03 October 2012 (2012-10-03) figure 2 paragraph [0014] - paragraph [0019] paragraph [0022]; figure 5 paragraph [0062]	1-11
X	US 5953383 A (KOJIMA TOSHIHARU [JP]) 14 September 1999 (1999-09-14) figures 1-3 column 4, line 64 - column 7, line 6	1-11
A	BIAO HUANG ET AL. "Conditional probability density function based signal detection for OFDM-based transform domain communication systems" *COMMUNICATIONS AND NETWORKING IN CHINA (CHINACOM), 2010 5TH INTERNATIONAL ICST CONFERENCE ON, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA,* 25 August 2010 (2010-08-25), pages 1-5 ISBN: 9739639799974. XP031847232 figures 1-4 sections II. and III.	1-11

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
28 February 2025	**11 March 2025**

Name and mailing address of the ISA/EP	Authorized officer
European Patent Office **p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk** **Netherlands (Kingdom of the)** Telephone No. **(+31-70)340-2040** Facsimile No. **(+31-70)340-3016**	**Chave, Julien** Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/EP2024/087674

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
EP 2506516 A1	03 October 2012	CN 103460662 A	18 December 2013
		EP 2506516 A1	03 October 2012
		JP 5724031 B2	27 May 2015
		JP 2014515210 A	26 June 2014
		KR 20130136567 A	12 December 2013
		US 2014016947 A1	16 January 2014
		WO 2012130733 A1	04 October 2012
US 5953383 A	14 September 1999	CN 1156355 A	06 August 1997
		EP 0788245 A2	06 August 1997
		JP 3576676 B2	13 October 2004
		JP H09214410 A	15 August 1997
		US 5953383 A	14 September 1999

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°
PCT/EP2024/087674

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE

INV. H04L5/02 H04L25/03 H04L25/06 H04L27/233 H04L27/26
ADD.

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

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)
H04L H04J

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	EP 2 506 516 A1 (ALCATEL LUCENT [FR]) 3 octobre 2012 (2012-10-03) figure 2 alinéa [0014] - alinéa [0019] alinéa [0022]; figure 5 alinéa [0062] -----	1-11
X	US 5 953 383 A (KOJIMA TOSHIHARU [JP]) 14 septembre 1999 (1999-09-14) figures 1-3 colonne 4, ligne 64 - colonne 7, ligne 6 ----- -/--	1-11

[X] Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

[X] Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée
"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
"X" document particulièrement pertinent;; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
"Y" document particulièrement pertinent;; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale
28 février 2025	11/03/2025

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

1

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	BIAO HUANG ET AL: "Conditional probability density function based signal detection for OFDM-based transform domain communication systems", COMMUNICATIONS AND NETWORKING IN CHINA (CHINACOM), 2010 5TH INTERNATIONAL ICST CONFERENCE ON, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 25 août 2010 (2010-08-25), pages 1-5, XP031847232, ISBN: 9739639799974 figures 1-4 Sections II. et III. -----	1-11

1

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°
PCT/EP2024/087674

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 2506516 A1	03-10-2012	CN 103460662 A	18-12-2013
		EP 2506516 A1	03-10-2012
		JP 5724031 B2	27-05-2015
		JP 2014515210 A	26-06-2014
		KR 20130136567 A	12-12-2013
		US 2014016947 A1	16-01-2014
		WO 2012130733 A1	04-10-2012
US 5953383 A	14-09-1999	CN 1156355 A	06-08-1997
		EP 0788245 A2	06-08-1997
		JP 3576676 B2	13-10-2004
		JP H09214410 A	15-08-1997
		US 5953383 A	14-09-1999