(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 2025/132968 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)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2024/087673

(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 :
FR2314772 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).

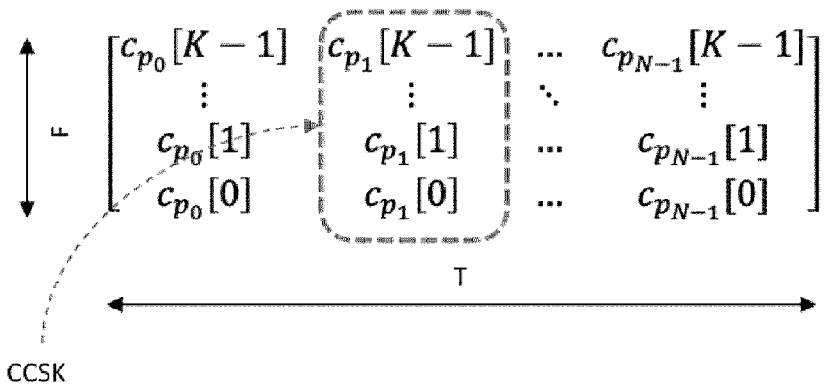
(81) États désignés *(sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible)* : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,

WO 2025/132968 A1

(54) **Title:** METHODS, DEVICES AND PROGRAMS FOR ADAPTIVE MODULATION AND DEMODULATION OF A DATA FRAME

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

[Fig. 2]



(57) **Abstract:** The invention relates to a method for demodulating a frame comprising N information words [P_0.. P_{N-1}], in which a word P_i at a position *i* # [0, N — 1] in the frame is modulated by a symbol C_{pi} from a dictionary of K symbols. The method is characterised in that it comprises steps of: obtaining (300) a priori knowledge about the distribution of symbols at a plurality of positions in the frame; determining (301) a differential representation of the a priori knowledge; determining (303) a differential representation of the received frame; linking (304) the determined differential representations in order to obtain a consolidated estimate of the differences between symbols in the received frame; and demodulating (305) the information words received from the consolidated estimate obtained. The invention also relates to a corresponding modulation method and to devices and programs for implementing the methods.

(57) **Abrégé :** L'invention concerne un procédé de démodulation d'une la trame comprenant N mots d'information [P_0.. P_{N-1}]

[Suite sur la page suivante]

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.*

dans lequel un mot P_i à un emplacement i # [0, N — 1] dans la trame est modulé par un symbole C_{pi} d'un dictionnaire de K symboles.

Le procédé est remarquable en ce qu'il comprend des étapes (300) d'obtention de connaissances à priori sur la distribution des symboles à une pluralité d'emplacement de la trame, de détermination (301) d'une représentation différentielle desdites connaissances à priori, de détermination d'une représentation différentielle (303) de la trame reçue, de mise en relation (304) des représentations différentielles déterminées pour obtenir une estimation consolidée des différences entre symboles de la trame reçue, et de démodulation (305) des mots d'information reçus à partir de l'estimation consolidée obtenue. Il est également proposé un procédé de modulation correspondant, ainsi que des dispositifs et programmes adaptés pour mettre en œuvre ces procédés.

DESCRIPTION

Titre : Procédés, dispositifs et programmes de modulation adaptative et 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 2.

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.

Il existe donc un besoin pour une méthode qui permette d'améliorer les performances de démodulation, notamment lorsqu'une 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 reçue, la trame comprenant N mots d'information $[p_0 \,..\, p_{N-1}]$ dans lequel un mot p_i à un emplacement $i \in [0, N-1]$ dans la trame est modulé par un symbole C_{pi} d'un dictionnaire de K symboles, le procédé étant tel qu'il comprend les étapes suivantes :

- Obtention de connaissances à priori sur la distribution des symboles à une pluralité d'emplacement de la trame,
- Détermination d'une représentation différentielle desdites connaissances à priori, représentative d'une probabilité qu'une différence entre deux symboles ait une valeur particulière,
- Détermination d'une représentation différentielle de la trame reçue, représentative d'une probabilité qu'une différence entre deux symboles de la trame ait une valeur particulière,
- Mise en relation des représentations différentielles déterminées pour obtenir une estimation consolidée des différences entre symboles de la trame reçue,
- Démodulation des mots d'information reçus à partir de l'estimation consolidée obtenue.

Supposons une séquence de variables aléatoires discrètes $X = [X_1 \quad X_2 \quad \dots \quad X_{N-1}] \in \mathrm{F}_K^N$. La définition d'un apriori signifie le choix et/ou la connaissance des lois de distribution de ces variables $\mathcal{D}_X = [\mathcal{D}_{X_1} \quad \mathcal{D}_{X_2} \quad \dots \quad \mathcal{D}_{X_{N-1}}]$. La connaissance à priori des distributions de ces variables aléatoires constitue une connaissance très utile pour l'estimation de la valeur des dîtes variables, notamment lorsqu'elles ont été entachées d'erreur par un phénomène perturbateur, comme du bruit, susceptible de modifier de façon incontrôlée les distributions de symboles transmis.

Il est ainsi proposé de représenter des connaissances à priori sur la distribution des symboles dans la trame sous une forme différentielle. De telle connaissances à priori sont par exemple obtenues par convention ou par un échange de message préalable. Cette représentation différentielle des connaissances à priori est combinée par produit avec une représentation différentielle déterminée à partir des symboles effectivement reçus, de sorte que les

probabilités de différences entre symboles sont mieux estimées. Le procédé permet ainsi d'améliorer les performances de la démodulation.

La connaissance des distributions à priori des symboles transmis améliore l'estimation des symboles reçus, notamment lorsque le canal de transmission est affecté par des perturbations (bruit, atténuation, etc.) qui modifient de façon incontrôlée les distributions des symboles transmis.

Ainsi, dans le cadre d'un algorithme de démodulation exploitant une représentation différentielle de la trame de donnée, c'est-à-dire une représentation dans laquelle on s'intéresse aux différences entre symboles et non aux symboles eux-mêmes, le procédé exploite la connaissance d'un apriori sur la distribution des symboles à la génération de la trame pour améliorer les performances de démodulation.

L'étape de détermination d'une représentation différentielle desdites connaissances à priori exploite ainsi la connaissance a priori des lois de distributions de chaque symbole selon son emplacement dans la trame, afin de déterminer la probabilité qu'une différence entre deux symboles à des emplacements particuliers ait une valeur particulière. Il s'agit de différences a priori, qui ne dépendent pas du canal de transmission.

L'étape de détermination d'une représentation différentielle de la trame reçue est réalisée quant à elle à partir des symboles effectivement reçus en estimant, pour une pluralité de couples de symboles de la trame, des probabilités qu'une différence entre deux symboles de la trame reçue ait une valeur particulière.

Bien entendu, lorsqu'il n'y a pas de certitude quant à la valeur des symboles démodulés, chaque symbole reçu peut être vu de manière classique comme une variable aléatoire discrète X_{i} régie par une loi de distribution $\mathcal{D}_{X_{\mathrm{i}}}$. La probabilité que la différence entre deux symboles ait une valeur particulière tient alors compte de cette incertitude et peut être exprimée par une variable aléatoire différentielle. Autrement dit, 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. Chaque symbole C_{Pi}de la trame est ainsi représenté

par une variable aléatoire X_i, de sorte que 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 $D_X = [D_{X_1} \quad D_{X_2} \quad \dots \quad D_{X_{N-1}}]$. 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 D_Y tel que $D_{Y_{i,j}} = D_{X_i} \circledast D_{X_j}$ 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 D_Y tel que $D_{Y_{i,j}} = D_{X_i} * D_{X_j}$ où $*$ est cette fois l'opérateur de convolution. On note dans ce document « Distribution relative $D_{i/j}$» la distribution de la variable aléatoire issue de la différence (ou de la somme) des deux variables aléatoires X_i et X_j.

Une telle représentation différentielle de la trame reçue est à distinguer d'une trame modulée différentiellement à l'émission selon une technique de modulation différentielle classique dans laquelle l'information est modulée par une transition entre deux symboles transmis consécutivement.

Dans une réalisation particulière, le procédé de démodulation est tel que chacun des K symboles du dictionnaire est associé à une valeur d'index distincte d'un groupe fini H de taille K, et tel que :

- L'obtention d'une connaissance à priori comprend l'obtention, pour chaque symbole C_{pi} de la trame, d'un vecteur de K probabilité PA_i dit distribution à priori, dans lequel un élément de rang u est une probabilité que le symbole C_{pi} soit le symbole d'index u du dictionnaire,

- La détermination d'une représentation différentielle desdites connaissances à priori comprend, pour chaque couple $(PA_i; PA_j)$ de distributions à priori, la détermination d'un vecteur de K probabilités $PA_{i/j}$, dit distribution relative à priori, dans lequel un élément de rang u est une probabilité, déterminée par mise en relation des distributions PA_i et PA_j, que la différence entre les index associés aux symboles C_{Pi} et C_{Pj} soit égale à u,
- La détermination d'une représentation différentielle de la trame reçue comprend, pour chaque couple de symboles (C_{Pi} ; C_{Pj}) de la trame reçue, la détermination d'un vecteur de K probabilités $PR_{i/j}$, dit distribution relative, déterminée par mise en relation des symboles C_{Pi} et C_{Pj}, dans lequel un élément de rang u est une probabilité que la différence entre les index associés aux symboles C_{Pi} et C_{Pj} soit égale à u, et
- La mise en relation des représentations différentielles déterminées comprend un produit terme à terme des distributions $PA_{i/j}$ avec les distributions $PR_{i/j}$.

Une telle disposition permet de déterminer une première matrice comprenant des distributions de probabilités dites relatives obtenue à partir de couple de symboles de la trame, c'est-à-dire une matrice déterminée à partir des symboles reçus, comprenant pour chaque couple de symboles de la trame, une probabilité que la différence entre ces symboles ait une certaine valeur, ainsi qu'une deuxième matrice comprenant des distributions relatives dites à priori, déterminée à partir d'une connaissance à priori sur la distribution des symboles, comprenant pour chaque couple de symbole de la trame, une probabilité que la différence entre ces symboles ait une certaine valeur. Le produit de ces matrices permet d'obtenir une matrice consolidée dans laquelle chaque élément est une distribution $P_{i/j}$ consolidée des probabilité qu'une différence entre les symboles C_{Pi} et C_{Pj} prennent une certaine valeur. Bien entendu, il peut s'avérer nécessaire de normaliser les distributions obtenues par produit, compte tenu de leur nature probabiliste.

On précise ici qu'un groupe est un ensemble muni d'une loi de composition interne associative admettant un élément neutre. Un tel groupe est dit « fini » lorsqu'il est constitué d'un nombre fini d'éléments.

En associant une valeur d'index distincte à chaque élément du dictionnaire, il est possible d'exprimer des différences entre les symboles par des différences entre les index associés à ces symboles. Pour cela, les K symboles du dictionnaire sont associés à K symboles distincts d'un groupe fini H d'ordre K dont la loi de composition est l'addition (et donc avec pour élément neutre la valeur 0). Une telle disposition permet de réaliser des opérations sur les index, en particulier les sommes et différences *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.

Selon un une réalisation particulière, un mot d'information est modulé par une séquence de K valeurs complexes obtenue par un décalage cyclique particulier d'une séquence racine.

Les mots d'information sont ainsi modulés par des séquences de type CCSK qui sont particulièrement adaptées pour obtenir une représentation différentielle de la trame. L'index associé à un symbole est par exemple la valeur du décalage de la séquence transmise dans le symbole par rapport à la séquence racine. L'utilisation d'une telle modulation se prête particulièrement bien à une représentation différentielle de la trame, les décalages pouvant être exprimés de façon absolue, par rapport à la séquence racine, ou bien relativement entre des paires de séquence qui composent la trame.

Selon un mode de réalisation particulier, la trame reçue est une trame temps-fréquence dans laquelle chacun des N pas de temps contient un symbole complet de taille K reparti sur un ensemble de K sous-porteuses en fréquence.

Les séquences CCSK sont ainsi intégrées au sein d'une trame CP-OFDM pour obtenir, dans sa forme la plus simple, 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-porteuses en fréquence, de sorte que le procédé détermine une représentation de la trame OFDM sous la forme d'une matrice des distributions de probabilité des décalages relatifs entre symboles

de la trame. Cette matrice est combinée avec une matrice comprenant des distributions de probabilité des décalages relatifs à priori entre les symboles de la trame, déterminée sur la base de connaissances obtenues au préalable sur la distribution des décalages pour chaque mot de la trame.

Une telle disposition permet d'exploiter les différents symboles CCSK contenus dans la trame CP-OFDM comme de multiples estimations du canal de transmission, permettant ainsi une meilleure estimation de ce dernier et/ou des schémas de transmission sans pilotes. La modulation CCSK-CP-OFDM est ainsi particulièrement adaptée à la transmission de paquets de petites tailles pour l'IoT, avec une efficience énergétique élevée.

Selon un mode particulier de réalisation, le procédé est tel qu'une connaissance à priori est reçue au préalable dans un message.

Cette indication est par exemple obtenue dans un message de configuration transmis par l'émetteur ou par un dispositif de contrôle du système de communication. Une telle disposition permet d'adapter dynamiquement les connaissances à priori sur les distributions de symboles, par exemple selon le contexte de la communication.

De façon correspondante au procédé de démodulation, il est également proposé un procédé de modulation d'une trame de données à transmettre, la trame comprenant N mots d'information $[p_0 .. p_{N-1}]$ dans lequel un mot p_i à un emplacement $i \in [0, N-1]$ dans la trame est modulé par un symbole C_{pi} d'un dictionnaire de K symboles, le procédé étant tel qu'au au moins un mot d'information p_i est modulé par un symbole issu d'un sous-ensemble G_i du dictionnaire de symbole, le sous-ensemble G_i étant sélectionné selon l'emplacement i du mot dans la trame et/ou un niveau de fiabilité cible pour la transmission dudit mot.

Ainsi, il est proposé de moduler au moins un mot d'information $\boldsymbol{p_i}$ de la trame par un symbole $\boldsymbol{C_{pi}}$ issu d'un sous-ensemble particulier $\boldsymbol{G_i}$ du dictionnaire de symbole. Le sous-ensemble de symbole utilisé pour moduler un mot p_i est sélectionné selon l'emplacement du mot dans la trame et/ou selon un niveau de fiabilité souhaité pour la transmission du mot. Par exemple,

lorsqu'une grande fiabilité est souhaitée pour transmettre le symbole, le procédé permet de sélectionner un sous-ensemble comprenant peu de symboles.

De cette façon, on réduit la quantité d'information pouvant être transmise pour un mot à un emplacement particulier de la trame tout en augmentant la fiabilité de la transmission de ce mot. En effet, en réduisant le nombre de ses valeurs possibles, un symbole transporte alors moins d'information mais offre une connaissance à priori plus forte au récepteur et donc une fiabilité de transmission accrue.

Les termes « emplacement » ou « position » dans la trame correspondent à la position d'un mot par rapport aux autres. Ces termes ne se rapportent pas à une position dans un train de bits, si bien que la position ou l'emplacement d'un mot dans la trame ne dépend pas de la taille du mot d'information.

Il est ainsi possible d'adapter finement le rendement de la trame, en rendant plus robuste la transmission de certains symboles, de fiabiliser les différents symboles de façon adaptative en fonction de leurs niveaux d'importance, ou d'intégrer de l'information avec un fort apriori tout au long de la trame en renforçant les à priori sur certains symboles.

Selon une réalisation particulière, le procédé de modulation est tel que chacun des K symboles du dictionnaire de symbole est associé à une valeur d'index distincte d'un groupe fini H d'ordre K, et tel qu'un sous-ensemble G_i de symboles sélectionnés pour un emplacement particulier est constitué des symboles qui sont associés à des valeurs d'index qui appartiennent à un sous-ensemble dudit groupe fini H.

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.

Un sous-groupe G d'un groupe fini H est un sous-ensemble de H comprenant l'élément neutre de H, et tel que le composé de deux éléments de G selon la loi de H appartient toujours à G et l'inverse (selon la loi de composition de H) de tout élément de G appartient lui-même à G.

En associant une valeur d'index distincte à chaque élément du dictionnaire, il est possible d'exprimer des différences entre les symboles par des différences entre les index associés à

ces symboles. Pour cela, les K symboles du dictionnaire sont associés à K symboles distincts d'un groupe fini d'ordre K dont la loi de composition est l'addition (et donc avec pour élément neutre la valeur 0). Une telle disposition permet de réaliser des opérations sur les index, en particulier les sommes et différences *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.

Selon un mode de réalisation particulier, le procédé de modulation est tel que le groupe fini H est le groupe $m\mathbb{Z}/mK\mathbb{Z}$ avec $m > 0$.

La loi de groupe sur $\mathbb{Z}/K\mathbb{Z}$ est définie par $(x\ mod\ K) + (y\ mod\ K) = (x + y)\ mod\ K$, de sorte que $\mathbb{Z}/K\mathbb{Z}$ est un groupe commutatif admettant un élément neutre, zéro. Par exemple, pour un dictionnaire de K=4 symboles, l'ensemble d'index est {0, 1, 2, 3}.

Le groupe $m\mathbb{Z}/mK\mathbb{Z}$ est ainsi constitué par les multiples de m. Avec K=4 symboles et m = 2, l'ensemble des index est {0, 2, 4, 6}.

Les opérations de somme et de différences dans un tel groupe sont réalisées modulo mK .

Dans un mode de réalisation particulier, le procédé de modulation est tel qu'un sous-ensemble de symboles sélectionné pour un emplacement particulier est constitué par les symboles qui sont associés à des valeurs d'index appartenant à un sous-groupe dudit groupe fini, le sous-groupe comprenant uniquement des valeurs multiples d'une valeur M telle que K est un multiple entier de M supérieur à 1.

De cette façon, on peut définir des sous-ensembles de symboles dont la cardinalité dépend de la valeur de M. En faisant varier M, on fait varier le rendement de la trame, c'est-à-dire le nombre de bits utiles que peut transporter un symbole. Ainsi, une valeur de M=K présente un rendement nul mais offre une bonne fiabilité de transmission. A l'inverse, lorsque M=1 le rendement est maximum, mais la fiabilité de la transmission est réduite.

Autrement dit, pour K fixe, plus M est grand plus le rendement de la transmission est faible. En réduisant le nombre de valeurs possible, un symbole transporte alors moins d'information (en l'occurrence $\log_2\left(\frac{K}{M}\right)$ bits par symbole) mais offre une connaissance à priori plus forte au récepteur et donc une fiabilité de transmission accrue.

La valeur de M renseigne ainsi sur les symboles possibles à un emplacement particulier et permet ainsi de restreindre la distribution de probabilité à certain symbole, et par conséquent de déterminer les distributions de probabilité de symboles pour un emplacement donné.

Selon un mode de réalisation particulier, le procédé de modulation est tel qu'il comprend en outre une étape de transmission vers un destinataire, d'un message comprenant une information représentative d'au moins une distribution de probabilité de symbole à un emplacement particulier de la trame.

Le destinataire est par exemple une entité de contrôle de la communication ou le terminal à qui la trame modulée est destinée. Une telle disposition permet au destinataire d'obtenir une connaissance à priori sur la valeur des symboles transmis.

Selon un autre aspect, l'invention concerne un dispositif de démodulation d'une trame de données, la trame comprenant N mots d'information $[p_0 \,..\, p_{N-1}]$ dans lequel un mot p_i à un emplacement $i \in [0, N-1]$ dans la trame est modulé par un symbole C_{pi} d'un dictionnaire de K symboles, le dispositif comprenant un processeur (502) couplé à une mémoire (501) dans laquelle sont enregistrées des instructions de programme (503) configurées pour mettre en œuvre les étapes suivantes :

- Obtention de connaissances à priori sur la distribution des symboles à une pluralité d'emplacement de la trame,
- Détermination d'une représentation différentielle desdites connaissances à priori, représentative d'une probabilité qu'une différence entre deux symboles ait une valeur particulière,

- Détermination d'une représentation différentielle de la trame reçue, représentative d'une probabilité qu'une différence entre deux symboles de la trame ait une valeur particulière,
- Mise en relation des représentations différentielles déterminées pour obtenir une estimation consolidée des différences entre symboles de la trame reçue,
- Démodulation des mots d'information reçus à partir de l'estimation consolidée obtenue.

De façon correspondante au dispositif de démodulation, l'invention concerne aussi un dispositif de modulation d'une trame de données à transmettre, la trame comprenant N mots d'information $[p_0 \,..\, p_{N-1}]$ dans lequel un mot p_i à un emplacement $i \in [0, N-1]$ dans la trame est modulé par un symbole C_{pi} d'un dictionnaire de K symboles, le dispositif comprenant un processeur (602) couplé à une mémoire (601) dans laquelle sont enregistrées des instructions de programme (603) configurées pour mettre en œuvre les étapes suivantes,

- Pour chaque mot p_i de la trame, $i \in [0, N-1]$:
  - Sélection d'un sous-ensemble de symboles particulier parmi les K symboles du dictionnaire selon l'emplacement i du mot p_i dans la trame et/ou selon un niveau de fiabilité cible pour la transmission du mot p_i,
  - Modulation du mot p_i par un symbole issu du sous-ensemble sélectionné,
- Transmission de la trame modulée.

L'invention concerne aussi un terminal comprenant un dispositif de démodulation et/ou un dispositif de modulation tels que décrits ci-dessus, ainsi qu'un système de communication comprenant de tels dispositifs et/ou terminaux.

Dans un mode particulier de réalisation, les différentes étapes des procédés de modulation et 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 modulation et/ou de démodulation tels que décrits 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 modulation et/ou d'un procédé de démodulation tels 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 des procédés en question.

Les différents modes ou caractéristiques de réalisation précités peuvent être ajoutés indépendamment ou en combinaison les uns avec les autres, aux étapes des procédés de modulation et de démodulation.

Les dispositifs, terminaux, systèmes, programmes et supports d'information présentent des avantages analogues à ceux conférés par les procédés auxquels 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 système de communication adapté pour mettre en œuvre les procédés de modulation et de démodulation selon un mode particulier de réalisation,
- La figure 2 illustre une trame temps-fréquence dans laquelle chacun des N pas de temps contient un symbole CCSK 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 4 est un ordinogramme représentant les principales étapes d'un procédé de modulation selon une réalisation particulière,
- La figure 5 est un diagramme représentant l'architecture d'un dispositif adapté pour mettre en œuvre le procédé de démodulation dans une réalisation particulière, et
- La figure 6 est un diagramme représentant l'architecture d'un dispositif adapté pour mettre en œuvre le procédé de modulation selon un mode particulier de réalisation.

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 les procédés de modulation et 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, etc... Le dispositif de réception 101, par exemple un équipement utilisateur, un terminal, un objet connecté ou tout autre dispositif adapté pour recevoir des données.

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, un mot binaire étant 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, est par exemple une séquence Zadoff-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 envisagées sans modifier l'invention. Par exemple, une modulation BPSK, QPSK ou QAM peuvent être utilisées.

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 correspond un mot de taille maximale p bits.

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

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 est ainsi associée à une valeur numérique unique, par exemple une valeur 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, 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 dans un groupe fini de taille K, c'est-à-dire *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 du groupe fini H 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...

Dans une réalisation particulière, un mot d'information P_i à un emplacement $i \in [0, N-1]$ de la trame est modulé par un symbole issu d'un sous-ensemble G_i de symboles utilisables pour coder un mot à l'emplacement i, le sous ensemble étant sélectionné selon la position i du mot à coder et/ou un niveau de fiabilité cible pour la transmission du mot d'information. Un tel sous-ensemble est constitué des symboles associés à des index dont les valeurs appartiennent à un sous-ensemble particulier du groupe fini H.

Ainsi, selon une réalisation particulière, chaque mot d'information de la trame est associé à un dictionnaire de symbole particulier selon sa position dans la trame et/ou un niveau de

fiabilité souhaité pour transmettre un mot à une position particulière. Plus généralement, certains mots d'une même trame peuvent être codés par un symbole issu d'un dictionnaire de K valeurs, alors que d'autres mots peuvent être codés par des symboles issus d'un premier sous-ensemble du dictionnaire, et d'autres mots encore peuvent être codés par des symboles issus d'un deuxième sous-ensemble du dictionnaire. Les premiers et deuxièmes sous-ensembles peuvent avoir des cardinalités distinctes selon un niveau de fiabilité souhaité pour la transmission des mots d'informations respectivement associés à ces sous-ensembles. En effet, plus le nombre de symbole qu'il est possible d'utiliser pour coder un mot à un emplacement particulier de la trame est faible, plus la transmission est fiable.

Autrement dit, en réduisant le nombre de valeurs possible pour un symbole, le symbole transporte moins d'information mais offre une connaissance à priori plus forte au récepteur et donc une fiabilité de transmission accrue.

Bien entendu, le dictionnaire de symbole utilisé par un émetteur est connu du récepteur pour permettre une démodulation. En outre, selon un principe général de l'invention, le récepteur à connaissance des distributions de probabilité de symboles dans une trame reçue. Cette connaissance est par exemple obtenue par convention (référence à un standard) ou par un message de configuration.

Une telle disposition permet d'améliorer les performances de démodulation par un dispositif récepteur adapté pour exploiter des différences entre symboles de la trame et pas uniquement les valeurs absolues de ces symboles ni les différences entre les symboles et un symbole de référence. Par exemple, dans le cas d'une modulation de type CCSK, la démodulation peut être réalisée à partir des différences entre les symboles de la trame. Dans un tel cas, la connaissance à priori des distributions de symboles à chaque emplacement d'une trame permet d'établir une connaissance à priori des distributions relatives, c'est-à-dire une connaissance à priori des distributions des probabilités de différences entre paires de symboles de la trame.

Cette amélioration de performance est atteinte par un démodulateur adapté pour mettre en relation une représentation différentielle des connaissances à priori sur les distributions de probabilité de symboles à priori, avec une représentation différentielle de la trame reçue, de

sorte que les différences entre symboles sont mieux estimées. Dans le cas de modulations différentielles, c'est-à-dire lorsqu'une valeur associée à un symbole peut être exprimée par une différence avec une valeur associée à un autre symbole, les performances sont améliorées.

De manière correspondante, il est proposé un modulateur adapté pour moduler des mots d'information d'une trame de donnée à partir d'un dictionnaire de symbole, le modulateur étant tel qu'au moins un mot d'information est modulé par un symbole dont la valeur est sélectionnée dans un sous-ensemble du dictionnaire de symbole, le sous-ensemble étant sélectionné selon la position du mot dans la trame et/ou un niveau de fiabilité cible pour la transmission dudit mot ou selon une distribution de probabilité de symboles associée à l'emplacement du mot.

L'opération de différence entre symboles dont il est question dans ce document peut varier selon la technique de modulation utilisée sans qu'il soit nécessaire de modifier l'invention. 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 de type CCSK, à des décalages de phases ou d'angles dans le cas d'une modulation QPSK, etc.. 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 l'ensemble {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}.

Dans un mode de réalisation particulier, une connaissance à priori sur la distribution des symboles à un emplacement $i \in [0, N-1]$ particulier dans la trame consiste en un vecteur de taille K comprenant un nombre d'élément égal à la cardinalité K du dictionnaire de symbole, dans lequel un élément d'indice u comprend une probabilité que la valeur associée au symbole à l'emplacement i de la trame est le symbole du dictionnaire qui est associé à la valeur u. Dans le présent document, on fait référence à un tel vecteur par les termes « distribution à priori ».

Par exemple, lorsque tous les symboles du dictionnaire sont susceptibles d'être utilisés pour moduler un mot à un emplacement particulier de la trame, la distribution à priori associée à cet emplacement est une distribution uniforme. Selon un autre exemple, lorsque seuls les symboles associés à des valeurs d'index paires dans le dictionnaire sont susceptibles d'être utilisées à un emplacement particulier de la trame, la distribution comprend des probabilités nulles aux indices impairs.

Ces connaissances à priori sur la distribution des symboles de la trame sont utilisées pour déterminer des « distributions relatives à priori ». Une distribution relative à priori $Pa_{i/j}$ est déterminée pour un couple d'emplacements $i, j \in [0, N-1]$, à partir des distributions à priori respectivement associées à ces deux emplacements. Une telle distribution relative à priori comprend, pour chaque couple d'emplacements $i, j \in [0, N-1]$ de la trame, une probabilité que la différence entre les symboles aux emplacements i, j de la trame ait une certaine valeur. Par exemple, une distribution relative à priori $Pa_{i/j}$ est un vecteur de K éléments correspondant aux K éléments du dictionnaire de symbole, dans lequel un élément $PA_{i/j}[u]$ est une probabilité que la différence entre les valeurs de symboles aux emplacements i et j de la trame ait la valeur u.

On obtient ainsi une distribution relative à priori pour chaque couple d'emplacements $(i,\ j)$ dans la trame, permettant de construire une matrice dans laquelle un élément de coordonnées (i, j) est une distribution relative à priori $Pa_{i/j}$.

Dans une réalisation particulière, cette matrice de distributions à priori est combinée avec une deuxième matrice comprenant des distributions relatives, représentative des différences entre des symboles ou des valeurs associées aux symboles effectivement 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. Par exemple, cette différence peut correspondre à la valeur d'un décalage entre deux séquences CCSK. 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 la différence entre les symboles C_{pi} et C_{pj} a la 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 $P_{i/j}$.

Ces deux matrices sont combinées par produit, de sorte que les probabilités de différences entre les valeurs associées aux symboles effectivement reçus sont pondérées par les probabilités déterminées à partir des connaissances à priori sur les valeurs de ces symboles. Bien entendu, il peut s'avérer nécessaire de normaliser les distributions obtenues par produit, compte tenu de leur nature probabiliste.

La matrice résultant de cette combinaison comprend ainsi des distributions dites « distributions relatives consolidées », qui sont mieux estimées car elles prennent en compte les connaissances à priori sur les distributions de symboles.

En considérant par exemple une trame contenant 5 symboles CCSK de taille 4 (encodant chacun 2 bits d'information) et une distribution relative : $P_{3/5} = [0.2, \quad 0.1, \quad 0.3, \quad 0.4]$, représentative des probabilités des décalages entre des symboles d'indice 3 et 5, on déduit que le décalage relatif le plus probable du symbole 3 par rapport au symbole 5 est $\mathrm{Argmax}\left(P_{3/5}\right) = 3$. Dis autrement, les valeurs de ces deux symboles sont liées par $p_3 = p_5 + 3 \; mod \; 4$.

Si par exemple les connaissances à priori concernant les distributions P_3 et P_5 suivent un sous-ensemble des indices paires tel que $P_3 = [0.5, \quad 0.0, \quad 0.5, \quad 0.0]$ et $P_5 = [0.5, \quad 0.0, \quad 0.5, \quad 0.0]$, on peut déterminer la distribution relative à priori suivante, obtenue après corrélation croisée et normalisation : $Pa_{3/5} = [0.5, \quad 0.0, \quad 0.5, \quad 0.0]$.

Le produit de la distribution à priori $Pa_{3/5}$ et de la distribution $P_{3/5}$ nous donne la distribution consolidée suivante, après normalisation : $P_{3/5} = [0.4, \quad 0.0, \quad 0.6, \quad 0.0]$.

On constate que cette consolidation permet d'obtenir $\mathrm{Argmax}\left(P_{3/5}\right) = 2$, différent de l'estimation initiale. L'estimation initiale est ainsi améliorée grâce aux connaissances à priori.

Dans le cas d'une modulation de type CCSK, les mots d'information sont modulés par des décalage cycliques d'une séquence particulière dite séquence racine, par exemple par des décalages cycliques d'une séquence Zadoff-chu (ces séquences présentent de bonnes propriétés d'autocorrélation et sont particulièrement adaptées à cet usage). Il est ainsi possible d'exprimer la différence entre deux symboles par le décalage entre ces symboles.

De façon analogue, la différence entre deux symboles BPSK peut s'exprimer par une différence entre les angles respectifs associés à ces symboles.

Plus généralement, les différences peuvent s'exprimer entre des valeurs d'index associées aux symboles dans le dictionnaire de symbole, comme décrit précédemment. Pour cela, selon une réalisation particulière, les K symboles du dictionnaire sont associés à K valeurs d'index distinctes issues d'un groupe fini d'ordre K. Un tel ensemble d'index fourni une arithmétique modulaire adaptée pour exprimer des différences entre tous les symboles du dictionnaire.

Cette estimation améliorée des relations entre les symboles d'une trame reçue peut avantageusement être utilisée lors de la démodulation de la trame.

Par exemple, lorsque la trame comprend au moins un symbole dont la valeur est connue à une position connue, comme un symbole pilote, il est proposé d'utiliser les distributions relatives consolidées pour démoduler les autres mots d'information. Pour cela, il est possible d'utiliser une unique ligne de la matrice des distributions relatives consolidées, qui comprend les informations permettant de connaître les probabilités de décalage entre tous les symboles de la trame. Il est cependant possible de combiner les données de différentes lignes de cette matrice pour améliorer encore l'estimation. En effet, par transitivité, une distribution relative $P_{A/B}$ peut s'exprimer par mise en relation des distributions relatives $P_{A/C}$ et $P_{B/C}$. Une telle mise en relation peut s'effectuer par corrélation croisée ou convolution. En sélectionnant dans la matrice des combinaisons de distributions associées à des probabilités les plus élevées, on peut améliorer l'estimation des symboles par rapport au symbole pilote.

Selon un autre exemple, lorsqu'aucun symbole n'est connu de façon absolue, les distributions relatives consolidées déterminées permettent la mise en œuvre d'une démodulation décalée. 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.

La figure 3 illustre les principales étapes d'un procédé de démodulation selon un mode particulier de réalisation. Le procédé est par exemple mis en œuvre par le dispositif 102 de la figure 2.

Lors d'une première **étape 300**, le procédé comprend une étape d'obtention d'une information relative aux distributions de symboles dans une ou plusieurs trames. Comme on l'a vue, cette connaissance peut être contenue dans un message reçu par le dispositif 102, par exemple dans un message de configuration de la communication. Cette connaissance peut prendre la forme de distributions de probabilité associées à un ou plusieurs emplacements de la trame, ou consister en une valeur transmise à partir de laquelle il est possible de déterminer de telles distribution. Cette connaissance peut également être déterminée par convention, par exemple par référence à un standard de communication.

Le procédé comprend une **étape 301** au cours de laquelle le dispositif 102 détermine des distributions relatives à priori à partir des connaissances obtenues à **l'étape 300**.

Ces distributions relatives à priori sont obtenues comme décrit précédemment, par une opération corrélation croisée ou une convolution appliquée à des distributions à priori déterminées à partir des connaissances à priori obtenues et, selon une réalisation particulière, sont agencées dans une matrice dans laquelle un élément (i, j) comprend une distribution relative à priori représentative des probabilités de différences entre les valeurs associées symboles aux emplacement i et j d'une trame de données.

Dans une réalisation particulière, les étapes 300 et 301 se confondent de sorte que les distributions relatives à priori sont directement obtenues dans un message de configuration ou par référence à un standard.

A **l'étape 302**, le dispositif 102 détermine une distribution de probabilité pour chaque symbole de la trame reçue. Par exemple, le dispositif détermine un vecteur P_i de taille K dont chaque élément $P_i[u]$ est une probabilité que le symbole C_{Pi} est le symbole d'index u dans le dictionnaire. Dans le cas d'une modulation CCSK, un élément $P_i[u]$ contient par exemple la probabilité valeur du décalage entre la séquence C_{Pi} et une séquence de référence soit de valeur u. Pour cela, le dispositif 102 compare chaque séquence C_{Pi} avec la séquence racine, par exemple à partir d'une opération de corrélation croisée (ou de convolution) pour déterminer pour chaque symbole la probabilité d'une valeur de décalage par rapport à la séquence racine.

Lors d'une **étape 303**, pour une pluralité de couples de symboles (C_{Pi}, C_{Pj}) de la trame reçue, le dispositif 102 estime une distribution relative représentative d'une différence entre des symboles C_{Pi} et C_{Pj} de la trame reçue, avec $i, j \in [0, N-1]$.

Comme on l'a indiqué, lorsque les K symboles du dictionnaire sont associées à K valeurs d'index distinctes appartenant à un groupe fini d'ordre K, la différence est estimée dans le groupe fini K, c'est-à-dire modulo la cardinalité du dictionnaire de symboles lorsqu'on suppose un indexage sous la forme {0, 1, ..., K-1}, ou modulo mK en lorsque les symboles sont indexés par des valeurs appartenant au groupe fini $m\mathbb{Z}/mK\mathbb{Z}$, avec m un entier strictement positif.

Dans une réalisation particulière, ce traitement aboutit à une représentation de la trame sous la forme d'une matrice des distributions de probabilité des décalages relatifs entre symboles CCSK de la trame (ou distributions relatives au sens de l'invention) :

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

Dans cette matrice, chaque indice $P_{i/j}$ contient ainsi un vecteur de taille K dans lequel chaque élément du vecteur $P_{i/j}[k]$ contient la probabilité que la valeur de la différence entre les symboles C_{Pi} et C_{Pj} de la trame soit de valeur k.

Bien entendu, il est envisageable de ne déterminer qu'un sous-ensemble de ces distributions relatives à postériori sans modifier l'invention.

Lors d'une **étape 304**, les distributions relatives à priori déterminées à **l'étape 301** sont combinées avec les distributions relatives correspondantes déterminées à **l'étape 303** pour obtenir des distributions relatives consolidées. Dans une réalisation particulière, le dispositif 102 effectue pour cela un produit des matrices dans lesquelles sont respectivement agencées les distributions relatives à priori et les distributions relatives à postériori.

Le procédé comprend enfin une **étape 305** de démodulation au cours de laquelle au moins une partie des distributions relatives consolidées sont utilisées pour estimer la valeur d'un symbole à partir d'un autre pris pour référence. Comme indiqué plus haut, la démodulation peut être réalisée à partir des probabilités consolidées 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. Selon un autre exemple, le dispositif 102 effectue une démodulation décalée à partir des distributions relatives consolidées.

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 4 illustre les principales étapes d'un procédé de modulation selon une réalisation particulière.

Le procédé de modulation est par exemple mis en œuvre par le dispositif 101 de la figure 2.

Le procédé comprend une première **étape 400** d'obtention d'une trame de données à transmettre comprenant N mots d'information $[P_0, \ldots, P_{N-1}]$. Les mots d'information sont par exemple des mots binaires de taille maximale p bits.

Lors d'une **étape 401**, le dispositif 101 détermine un dictionnaire de symboles à utiliser pour moduler les mots binaires de la trame. Un tel dictionnaire de symbole comprend au moins

$K = 2^p$ symboles qui sont respectivement associés à K valeurs d'index distinctes. Les K valeurs d'index constituent un groupe fini d'ordre K, muni d'un élément neutre et d'une loi d'addition, de sorte que les opérations de somme ou de différence entre les valeurs d'index sont réalisées dans le cadre d'une arithmétique modulaire, c'est-à-dire *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.

Selon un mode particulier de réalisation, le procédé comprend une **étape 402** au cours de laquelle le dispositif 101 associe un sous-ensemble particulier G_i de symboles à un mot d'information particulier p_i à un emplacement i dans la trame, $i \in [0..N]$. Un tel sous-ensemble de symboles est composé des symboles du dictionnaire qui sont associés à des valeurs d'index formant un sous-ensemble particulier du groupe fini H. Par exemple, un tel sous-ensemble est composé exclusivement des symboles du dictionnaire qui sont associées à des valeurs paires, ou exclusivement des symboles du dictionnaire qui sont associées à des valeurs impaires.

Dans un mode de réalisation particulier, un tel sous-ensemble est composé exclusivement des symboles du dictionnaire qui sont associées à des valeurs multiples d'une valeur m strictement positive et diviseur de K, la valeur m étant déterminée selon la position du mot d'information dans la trame et/ou selon un niveau de fiabilité cible pour la transmission du mot d'information. Ainsi, Pour K fixe, plus m est grand, plus le rendement de la transmission est faible. En réduisant le nombre de valeurs possible, un symbole transporte alors moins d'information (en l'occurrence $\log_2\left(\frac{K}{M}\right)$ bits par symbole) mais offre une connaissance à priori plus forte au récepteur et donc une fiabilité de transmission accrue.

Bien entendu, on peut envisager d'associer plusieurs sous-ensembles distincts à des mots d'information distincts de la trame, de sorte qu'il est possible d'adapter finement la fiabilité et le rendement de la transmission.

Considérons par exemple une trame CCSK-CP-OFDM de taille $N = 5$ symboles de tailles $K = 8$, et un dictionnaire de symboles indexés par des valeurs distinctes du groupe fini $\mathbb{Z}/K\mathbb{Z}$. La trame peut être construite de la façon suivante :

- Un symbole C_{p0}, par exemple un symbole pilote, sélectionné dans un sous-ensemble du dictionnaire de symbole constitué par les symboles associés à des valeurs d'index multiples d'une valeur $m = 8$. Ce symbole a un débit utile de $\log_2\left(\frac{K}{M}\right) = 0$ bit/symbole,
- Un symbole C_{p1} sélectionné dans un sous-ensemble du dictionnaire de symbole constitué par les symboles associés à des valeurs d'index multiples d'une valeur $m = 4$. Ce symbole a un débit utile de $\log_2\left(\frac{K}{M}\right) = 1$ bit/symbole,
- Un symbole C_{p2} sélectionné dans un sous-ensemble du dictionnaire de symbole constitué par les symboles associés à des valeurs d'index multiples d'une valeur $m = 2$. Ce symbole a un débit utile de $\log_2\left(\frac{K}{M}\right) = 2$ bits/symbole, et
- Deux symbole C_{p3} et C_{p4}, non critiques, dont les valeurs sont sélectionnées dans un sous-ensemble du dictionnaire de symbole constitué par les symboles associés à des valeurs d'index multiples d'une valeur $m = 1$. Ce symbole a un débit utile de $\log_2\left(\frac{K}{M}\right) = 3$ bits/symbole.

Les caractéristiques des sous-ensembles de symboles associés aux différents symboles de la trame permettent de déterminer des distributions à priori de ces symboles.

Dans un mode de réalisation particulier, le dispositif 101 détermine un sous-ensemble particulier de symboles disponibles pour moduler un mot d'information à une position particulière de la trame par application d'un standard de communication également connu du récepteur 102.

Dans un mode de réalisation particulier, le dispositif 101 détermine un sous-ensemble particulier de symboles disponibles pour moduler un mot d'information à une position particulière de la trame selon le contenu d'un message de configuration transmis par le récepteur 102, une entité de contrôle de la communication, ou un point d'accès radio comme une station de base ou un routeur WiFi®.

Dans un mode de réalisation particulier, le dispositif 101 détermine un sous-ensemble particulier de symboles disponibles pour moduler un mot d'information à une position particulière de la trame selon une donnée caractéristique du canal de transmission, par exemple communiquée par le récepteur 102.

Dans un mode de réalisation particulier, le procédé comprend une **étape 403** de transmission d'un message vers le dispositif 101 ou une entité de contrôle de la communication, le message comprenant au moins une distribution de symboles associée à un ou plusieurs mots d'information et/ou positions particulière de la trame. Il est entendu que les distributions de symboles peuvent ainsi être communiquées au récepteur 101 à tout moment, par exemple en préalable à la transmission d'une pluralité de trames. Bien entendu, un tel message peut comprendre des distributions à priori se rapportant à une pluralité de trames, à un type de trame particulier, ou encore à une session de communication.

Le procédé comprend une **étape 404** au cours de laquelle les mots d'informations sont modulés à partir du dictionnaire de symbole, et/ou des sous-ensembles de symboles déterminés pour coder un mot particulier. Pour cela, pour chaque mot à coder à une position particulière dans la trame, le dispositif peut consulter une table dans laquelle une position i dans la trame est associée à un identifiant d'un sous-ensemble G_i de symboles, le sous-ensemble G_i à utiliser pour la modulation d'un mot p_i étant déterminé selon un niveau de fiabilité cible pour la transmission d'un symbole. Le dispositif module le mot d'information par un symbole sélectionné dans le sous-ensemble G_i associé à la position i du mot d'information dans la trame.

Le procédé comprend enfin une **étape 405** de transmission de la trame modulée vers le dispositif 102. Dans une réalisation particulière, la trame est transmise par modulation OFDM, selon laquelle chacun des N pas de temps contient une séquence CCSK codant complète de taille K pour un mot d'information, repartie sur l'ensemble des sous-porteuse en fréquence.

La figure 5 représente une architecture simplifiée d'un dispositif 500 adapté pour mettre en œuvre le procédé de démodulation selon un réalisation particulière.

Le dispositif 500 comprend un module de traitement de données comprenant un espace de stockage 501, par exemple une mémoire (MEM), une unité de traitement 502, équipée par

exemple d'un microprocesseur (PROC), et pilotée par un programme d'ordinateur (PGR) 503 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 503 sont par exemple chargées dans la mémoire 501 avant d'être exécutées par le processeur de l'unité de traitement 502. Le microprocesseur de l'unité de traitement 502 met en œuvre, selon les instructions du programme d'ordinateur 503, les étapes du procédé de démodulation décrit ci-avant en référence à la figure 3.

Pour cela, outre la mémoire 501 et le processeur 502, le dispositif comprend des moyens de communication 504, par exemple un transducteur OFDM adapté pour recevoir un signal sur une pluralité de porteuses orthogonales. Les moyens de communication 504 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, reparti sur l'ensemble des sous-porteuse en fréquence, et démoduler les N symboles OFDM reçus.

Le dispositif 500 comprend également un module 505 de détermination d'une ou plusieurs distributions à priori des probabilités de symboles dans la trame reçue. Le module 505 est par exemple mis en œuvre par des instructions de programme configurées pour associer un vecteur de de taille K à au moins un mot d'information de la trame reçue par le module de communication 504, dans lequel chaque élément d'indice u comprend une probabilité que la valeur du symbole à la position à laquelle est associé le vecteur est le symbole d'index u dans un dictionnaire de symbole de taille K. Les instructions de programme sont en outre configurées pour construire de telles distributions à priori par référence à une norme, par réception d'un message en provenance d'une entité de contrôle ou de l'émetteur de la trame, le message comprenant au moins une indication permettant d'identifier une distribution particulière de symboles pour un ou plusieurs emplacements particuliers.

Le dispositif 500 comprend un module 506 de détermination d'un ensemble de distributions relatives à priori à partir des distributions à priori déterminées par le module 505, le module 506 étant mis en œuvre par des instructions de programme configurées déterminer un vecteur de K éléments correspondant aux K éléments du dictionnaire de symbole, dans lequel

un élément d'indice u est une probabilité que la différence entre les valeurs de symboles aux emplacement i et j de la trame ait la valeur u. Les instructions de programme sont en outre configurées, selon une réalisation particulière, pour construire une matrice à partir des distributions relatives à priori déterminées, dans laquelle un élément aux coordonnées (i, j) comprend une distribution relative à priori des différences entre les valeurs des symboles aux emplacements i et j de la trame reçue par le module de communication.

Le dispositif 500 comprend également un module 507 de détermination d'un ensemble E de distributions de probabilités, par exemple une matrice, 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 valeurs d'index associées à 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 504, avec $i \in [0; N-1]$ et $j \in [0; N-1]$, une différence étant calculée selon une arithmétique modulaire. Le module 507 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.

Le dispositif comprend un module de consolidation 508 adapté pour combiner les distributions relatives à priori déterminées par le module 506 aux distributions relatives déterminées par le module 507. Le module est par exemple mis en œuvre par des instructions de programme configurées pour effectuer un produit des matrices construites par les modules 506 et 507 et obtenir ainsi une matrice comprenant des distributions relatives consolidées.

Le dispositif 500 comprend enfin un module de démodulation 509 adapté pour démoduler les symboles transmis dans la trame reçue à partir des distributions relatives consolidées par le module 508. Par exemple, le module 509 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 consolidés entre séquences de la trame, par exemple à partir des décalages mis à jour dans une ou plusieurs lignes particulières de la matrice consolidée. 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 500 est intégré dans terminal de communication, un objet connecté, un véhicule, une passerelle, un point d'accès ou encore une station de base.

La figure 6 représente une architecture simplifiée d'un dispositif 600 adapté pour mettre en œuvre le procédé de modulation selon un réalisation particulière.

Le dispositif 600 comprend un module de traitement de données comprenant un espace de stockage 601, par exemple une mémoire (MEM), une unité de traitement 602, équipée par exemple d'un microprocesseur (PROC), et pilotée par un programme d'ordinateur (PGR) 603 dont les instructions sont configurées pour mettre en œuvre le procédé de modulation tel que décrit précédemment en relation avec la figure 4.

A l'initialisation, les instructions de code du programme d'ordinateur 603 sont par exemple chargées dans la mémoire 601 avant d'être exécutées par le processeur de l'unité de traitement 602. Le microprocesseur de l'unité de traitement 602 met en œuvre, selon les instructions du programme d'ordinateur 603, les étapes du procédé de modulation décrit ci-avant en référence à la figure 4.

Pour cela, outre la mémoire 601 et le processeur 602, le dispositif 600 comprend un module 604 d'obtention d'une trame comprenant N mots d'information, par exemple N mots binaires de taille maximale p bits. Par exemple, le module 602 peut être mis en œuvre par des instructions adaptées pour former une trame en segmentant un flux de données applicatives et en y ajoutant une valeur permettant d'en contrôler l'intégrité.

Le dispositif comprend aussi un module 605 de sélection d'au moins un sous-ensemble de symboles issus d'un dictionnaire de symbole pour moduler au moins un mot d'information à une position particulière. Pour cela, le module 605 est par exemple mis en œuvre par des instructions de programme adaptées pour sélectionner un sous-ensemble de symboles en fonction de l'emplacement dans la trame d'un mot à moduler et/ou d'un niveau de fiabilité souhaité pour la transmission dudit mot d'information.

Le dispositif 600 comprend un module 606 de modulation des mots d'information à partir du sous-ensemble de symboles déterminé par le module 605 pour chaque mot d'information.

Le dispositif comprend des moyens de communication 607, par exemple un transducteur OFDM adapté pour transmettre un signal sur une pluralité de porteuses orthogonales. Les moyens de communication 607 correspondent par exemple à une interface réseau 3G, 4G, 5G ou WiFi® configurées par des instructions de programme d'ordinateur pour permettre la transmission 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, reparti sur l'ensemble des sous-porteuse en fréquence. Selon un mode particulier de réalisation, les moyens de communication sont configurés par des instructions pour transmettre vers un dispositif de réception au moins une information caractéristique de la distribution de probabilité des symboles à un ou plusieurs emplacements d'une ou plusieurs trames.

Dans une réalisation particulière, le dispositif 600 est intégré dans terminal de communication, un objet connecté, un véhicule, une passerelle, un point d'accès ou encore une station de base.

Selon un mode particulier de réalisation, les dispositifs de modulation et de démodulation sont compris dans un même dispositif.

REVENDICATIONS

1. Procédé de démodulation d'une trame de données reçue, la trame comprenant N mots d'information $[p_0 .. p_{N-1}]$ dans lequel un mot p_i à un emplacement $i \in [0, N-1]$ dans la trame est modulé par un symbole C_{pi} d'un dictionnaire de K symboles, le procédé étant tel qu'il comprend les étapes suivantes :
   - Obtention (300) de connaissances à priori sur la distribution des symboles pour une pluralité d'emplacement de la trame reçue,
   - Détermination (301) d'une représentation différentielle desdites connaissances à priori, représentative d'une probabilité, pour une pluralité de couples d'emplacements (i, j), avec $i, j \in [0, N-1]$, qu'une différence entre deux symboles à ces emplacements dans une trame ait une valeur particulière,
   - Détermination (303) d'une représentation différentielle de la trame reçue, représentative d'une probabilité qu'une différence entre deux symboles reçus de la trame ait une valeur particulière,
   - Mise en relation (304) des représentations différentielles déterminées pour obtenir une estimation consolidée des différences entre symboles de la trame reçue,
   - Démodulation (305) des mots d'information reçus à partir de l'estimation consolidée obtenue.

2. Procédé selon la revendication 1 dans lequel chacun des K symboles du dictionnaire est associé à une valeur d'index distincte d'un groupe fini H de taille K, et dans lequel :
   - L'obtention d'une connaissance à priori comprend l'obtention, pour chaque symbole C_{pi} de la trame, d'un vecteur de K probabilité PA_i dit distribution à priori, dans lequel un élément de rang u est une probabilité que le symbole C_{pi} soit le symbole d'index u du dictionnaire,
   - La détermination d'une représentation différentielle desdites connaissances à priori comprend, pour chaque couple $(PA_i; PA_j)$ de distributions à priori, la détermination d'un vecteur de K probabilités $PA_{i/j}$, dit distribution relative à priori, dans lequel un élément de rang u est une probabilité, déterminée par mise en relation des distributions PA_i et PA_j, que la différence entre les index associés aux symboles C_{Pi} et C_{Pj} soit égale à u,

- La détermination d'une représentation différentielle de la trame reçue comprend, pour chaque couple de symboles (C_{Pi} ; C_{Pj}) de la trame reçue, la détermination d'un vecteur de K probabilités $PR_{i/j}$, dit distribution relative, déterminée par mise en relation des symboles C_{Pi} et C_{Pj}, dans lequel un élément de rang u est une probabilité que la différence entre les index associés aux symboles C_{Pi} et C_{Pj} soit égale à u, et
- La mise en relation des représentations différentielles déterminées comprend un produit terme à terme des distributions $PA_{i/j}$ avec les distributions $PR_{i/j}$.

3. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes dans lequel un mot d'information est modulé par une séquence de K valeurs complexes obtenue par un décalage cyclique particulier d'une séquence racine de taille K.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes dans lequel la trame reçue est une trame temps-fréquence dans laquelle chacun des N pas de temps contient un symbole complet de taille K reparti sur un ensemble de K sous-porteuses en fréquence.

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes dans lequel les connaissances à priori sont reçues au préalable dans un message.

6. Procédé de modulation d'une trame de données à transmettre, la trame comprenant N mots d'information $[p_0 \,..\, p_{N-1}]$ dans lequel un mot p_i à un emplacement $i \in [0, N-1]$ dans la trame est modulé par un symbole C_{pi} d'un dictionnaire de K symboles, le procédé étant tel qu'au moins un mot d'information p_i est modulé par un symbole issu d'un sous-ensemble G_i du dictionnaire de symbole, le sous-ensemble G_i étant sélectionné selon l'emplacement i du mot dans la trame et/ou un niveau de fiabilité cible pour la transmission dudit mot.

7. Procédé selon la revendication 6 dans lequel chacun des K symboles du dictionnaire est associé à une valeur d'index distincte d'un groupe fini H de taille K, et dans lequel un sous-ensemble de symboles G_i sélectionné pour un emplacement i particulier est constitué des

symboles qui sont associés à des valeurs d'index qui appartiennent à un sous-ensemble dudit groupe fini H.

8. Procédé selon la revendication 7 dans lequel le groupe fini H est le groupe $m\mathbb{Z}/mK\mathbb{Z}$, m étant strictement positif.

9. Procédé selon l'une quelconque des revendications 6 à 8 dans lequel un sous-ensemble de symboles sélectionné pour un emplacement particulier est constitué des symboles qui sont associés à des valeurs d'index qui appartiennent à un sous-groupe dudit groupe fini H, le sous-groupe comprenant uniquement des valeurs multiples de M telle que K est un multiple entier de M supérieur à 1.

10. Procédé selon l'une quelconque des revendications 6 à 9 tel qu'il comprend en outre une étape de transmission vers un destinataire, d'un message comprenant une information représentative d'au moins une distribution de probabilité de symbole à un emplacement particulier de la trame.

11. Dispositif de démodulation d'une trame de données, la trame comprenant N mots d'information $[p_0 \,..\, p_{N-1}]$ dans lequel un mot p_i à un emplacement $i \in [0, N-1]$ dans la trame est modulé par un symbole C_{pi} d'un dictionnaire de K symboles, le dispositif comprenant un processeur (502) couplé à une mémoire (501) dans laquelle sont enregistrées des instructions de programme (503) configurées pour mettre en œuvre les étapes suivantes :
    - Obtention de connaissances à priori sur la distribution des symboles à une pluralité d'emplacement de la trame,
    - Détermination d'une représentation différentielle desdites connaissances à priori, représentative d'une probabilité, pour une pluralité de couples d'emplacements (i, j), avec $i, j \in [0, N-1]$, qu'une différence entre deux symboles à ces emplacements dans une trame ait une valeur particulière,
    - Détermination d'une représentation différentielle de la trame reçue, représentative d'une probabilité qu'une différence entre deux symboles reçus de la trame ait une valeur particulière,

- Mise en relation des représentations différentielles déterminées pour obtenir une estimation consolidée des différences entre symboles de la trame reçue,
- Démodulation des mots d'information reçus à partir de l'estimation consolidée obtenue.

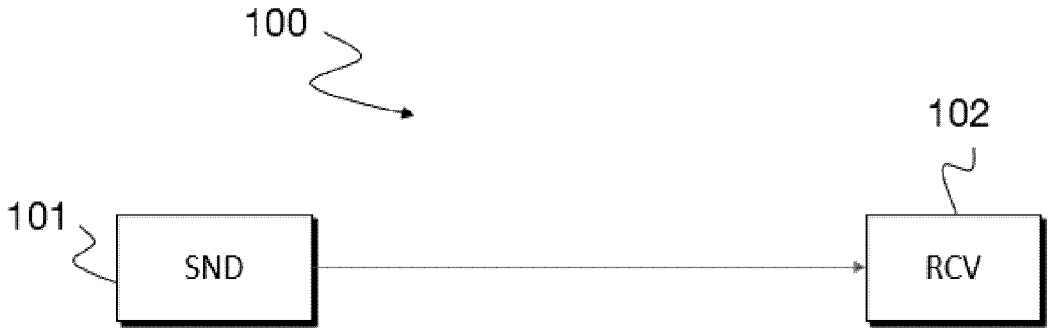
12. Dispositif de modulation d'une trame de données à transmettre, la trame comprenant N mots d'information $[p_0 \,..\, p_{N-1}]$ dans lequel un mot p_i à un emplacement $i \in [0, N-1]$ dans la trame est modulé par un symbole C_{pi} d'un dictionnaire de K symboles, le dispositif comprenant un processeur (602) couplé à une mémoire (601) dans laquelle sont enregistrées des instructions de programme (603) configurées pour mettre en œuvre les étapes suivantes,
    - Pour chaque mot p_i de la trame, $i \in [0, N-1]$:
        - Sélection d'un sous-ensemble de symboles particulier parmi les K symboles du dictionnaire selon l'emplacement i du mot p_i dans la trame et/ou selon un niveau de fiabilité cible pour la transmission du mot p_i,
        - Modulation du mot p_i par un symbole issu du sous-ensemble sélectionné,
    - Transmission de la trame modulée.

13. Terminal de communication comprenant un dispositif de démodulation selon la revendication 11 et/ou un dispositif de modulation selon la revendication 12.

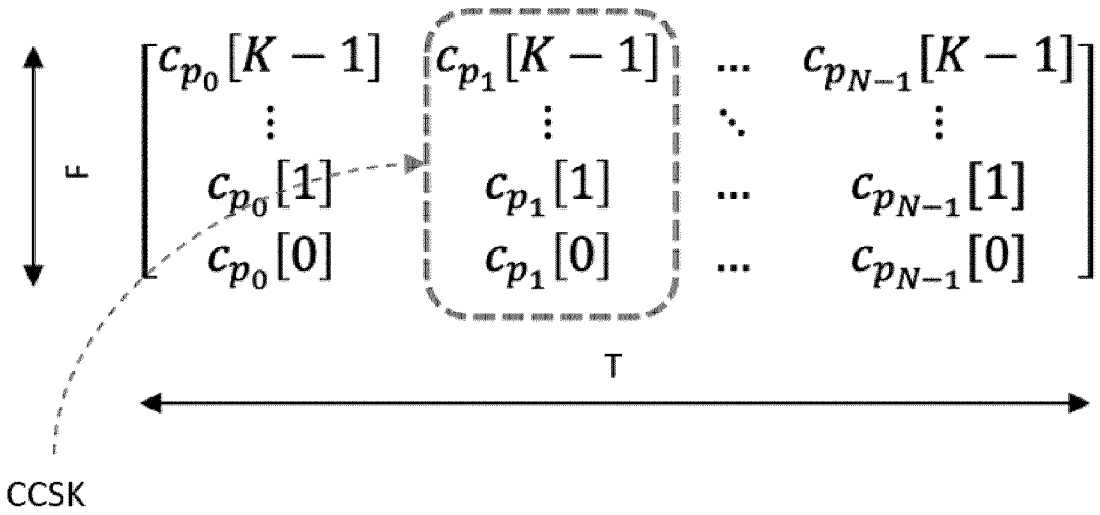
14. Programme d'ordinateur comportant des instructions adaptées à la mise en œuvre des étapes d'un procédé de démodulation selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, et/ou un procédé de modulation selon l'une quelconque des revendications 6 à 10, lorsque le programme est exécuté par un processeur.

15. 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 selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, et/ou un procédé de modulation selon l'une quelconque des revendications 6 à 10.

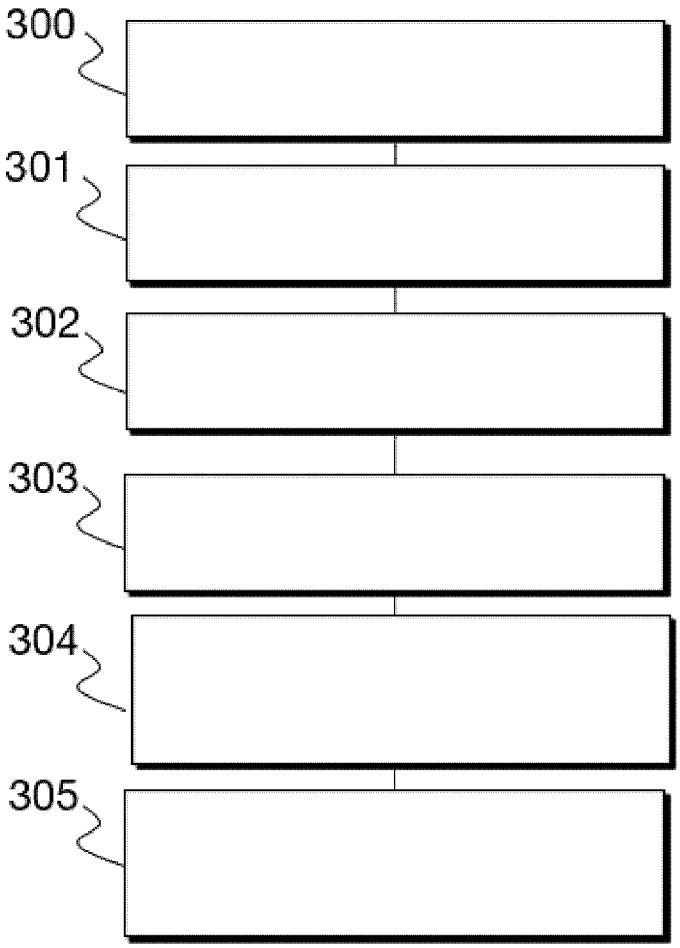
[Fig. 1]



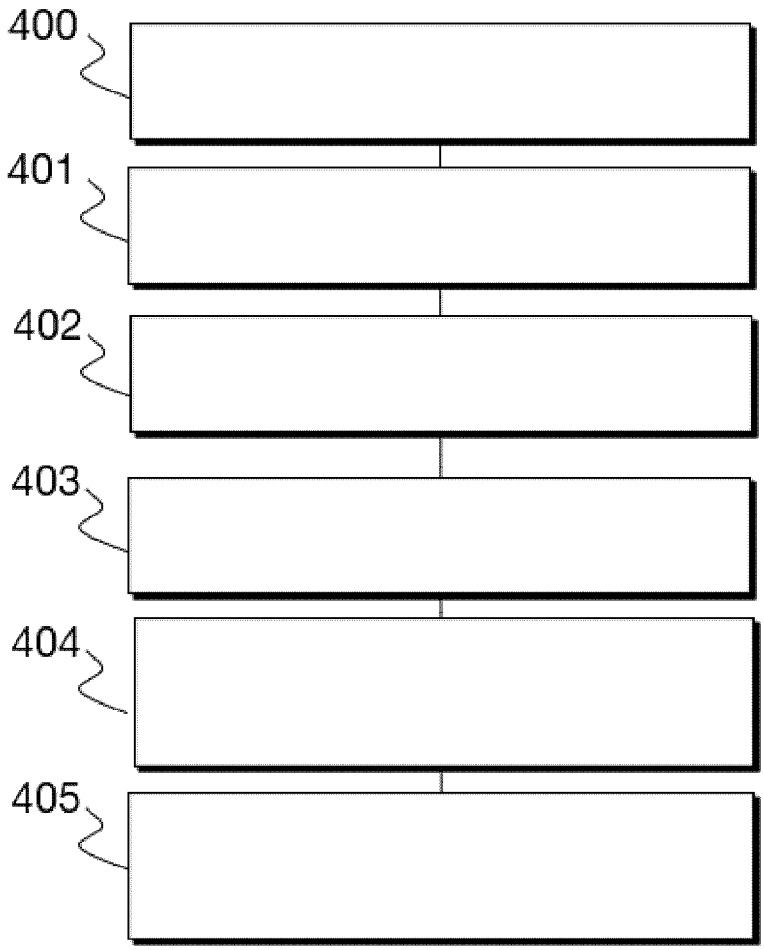
[Fig. 2]



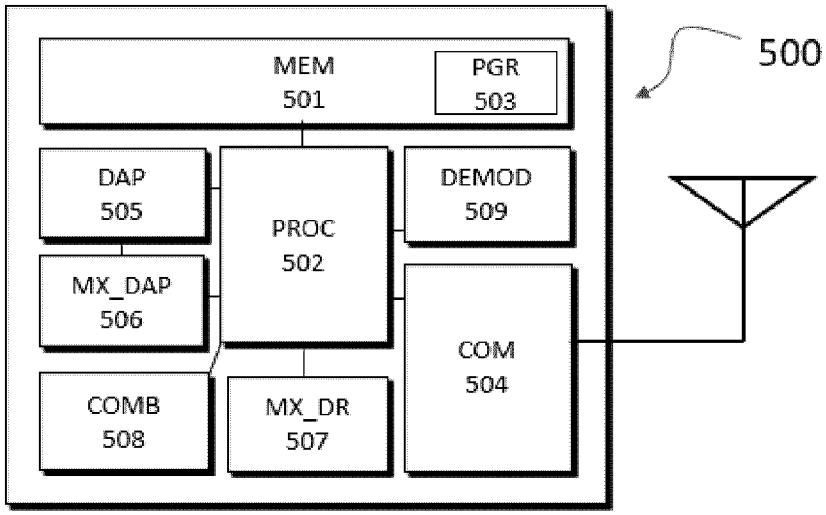
[Fig. 3]



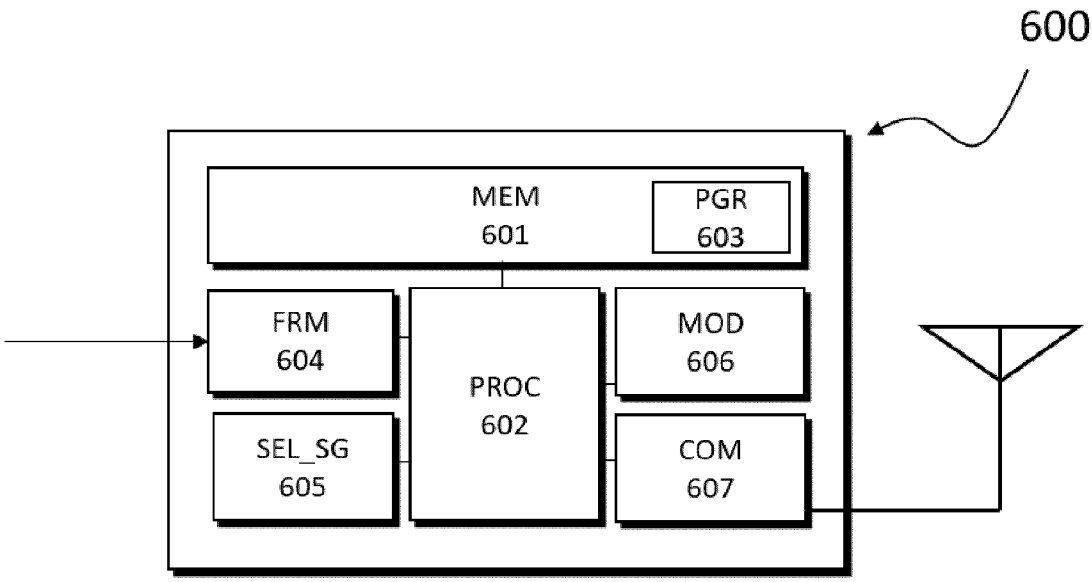
[Fig. 4]



[Fig. 5]


500
MEM
501
PGR
503
DAP
505
PROC
502
DEMOD
509
MX_DAP
506
COM
504
COMB
508
MX_DR
507

[Fig. 6]


600
MEM
601
PGR
603
FRM
604
PROC
602
MOD
606
SEL_SG
605
COM
607

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/EP2024/087673

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04L 5/02(2006.01)i; ***H04L 25/03***(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	1-15
X	EP 2323327 A2 (NXP BV [NL]) 18 May 2011 (2011-05-18) paragraph [0017] - paragraph [0026]; figure 1 paragraph [0048] - paragraph [0071]; figure 4 paragraph [0124] - paragraph [0131]; figure 11	1-15
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.	1-15

☐ 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/EP2024/087673

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
EP 2323327 A2	18 May 2011	EP 2323327 A2	18 May 2011
		US 2011116515 A1	19 May 2011

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°
PCT/EP2024/087673

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE

INV. H04L5/02 H04L25/03 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 -----	1-15
X	EP 2 323 327 A2 (NXP BV [NL]) 18 mai 2011 (2011-05-18) alinéa [0017] - alinéa [0026]; figure 1 alinéa [0048] - alinéa [0071]; figure 4 alinéa [0124] - alinéa [0131]; figure 11 ----- -/--	1-15

[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

Formulaire PCT/ISA/210 (deuxième feuille) (avril 2005)

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. -----	1-15

1

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°
PCT/EP2024/087673

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
EP 2323327 A2	18-05-2011	EP 2323327 A2	18-05-2011
		US 2011116515 A1	19-05-2011