(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
02 avril 2026 (02.04.2026)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2026/068427 A1

(51) Classification internationale des brevets :
H03M 13/00 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2025/077098

(22) Date de dépôt international :
23 septembre 2025 (23.09.2025)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
FR2410485 30 septembre 2024 (30.09.2024) FR

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

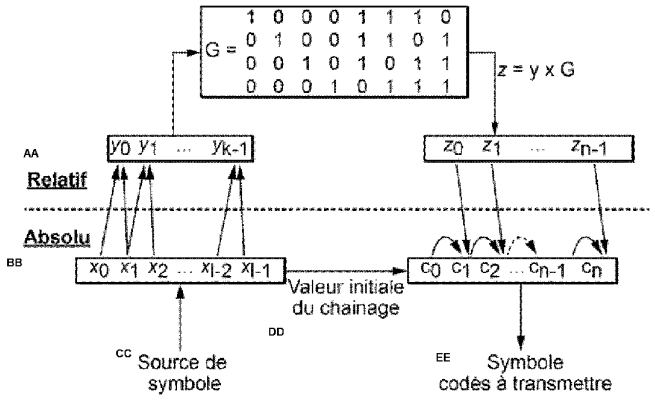
(72) Inventeurs : **LARUE, Guillaume** ; ORANGE - Intellectual Property and Licensing, Orange Gardens - 44 Avenue de la République - CS 50010, 92326 Chatillon (FR). **DUFRENE, Louis Adrien** ; ORANGE - Intellectual Property and Licensing, Orange Gardens - 44 Avenue de la République - CS 50010, 92326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

(54) **Title:** METHOD FOR ACHIEVING RELATIVE ENCODING OF A SIGNAL

(54) **Titre :** PROCÉDÉ D'ENCODAGE RELATIF D'UN SIGNAL

[Fig. 3]



AA Relative
BB Absolute
CC Symbol source
DD Initial value of the concatenation
EE Coded symbols to be transmitted

(57) **Abstract:** Disclosed is a method for encoding a source message via a symbol frame, the source message containing a first number (l) of initial variables ($x_0, x_1,\ldots,x_{l-1}$), each initial variable being discrete and taking values among a finite set (F), the method comprising the steps of: - determining a second number (k) of relative variables ($y_0, y_1,\ldots, y_{k-1}$) expressed by a change of variable using the initial variables ($x_0, x_1,\ldots,x_{l-1}$), - encoding the relative variables ($y_0, y_1,\ldots, y_{k-1}$) using a predefined coding matrix (G), said encoding resulting in a third number (n) of coded relative variables ($z_0, z_1,\ldots,$ zn-1), the third number (n) being greater than the second number (k), - determining a fourth number (m) of coded absolute variables ($c_0, c_1,\ldots, c_{m-1}$) expressed by the

WO 2026/068427 A1

[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, UY, 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, MU, 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))*

— *avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues (règle 48.2(h))*

— *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.*

change of variable using the coded relative variables (z0, z1,..., z_{n-1}), and in which the symbol frame contains said coded absolute variables (c_0, c_1,..., cm_{-1}).

(57) Abrégé : Procédé d'encodage d'un message source via une trame de symboles, le message source comprenant un premier nombre (l) de variables initiales (x_0, x_1,...,x_{l-1}), chaque variable initiale étant discrète et prenant des valeurs parmi un ensemble fini (F), le procédé comprenant les étapes : - déterminer un deuxième nombre (k) de variables relatives (y_0, y_1,..., y_{k-1}) exprimées par un changement de variable utilisant les variables initiales (x_0, x_1,...,x_{l-1}), - encoder les variables relatives (y_0, y_1,..., y_{k-1}) en utilisant une matrice de codage prédéfinie (G), ledit encodage résultant en un troisième nombre (n) de variables relatives codées (z_0, z_1,..., zn-1), le troisième nombre (n) étant supérieur au deuxième nombre (k), - déterminer un quatrième nombre (m) de variables absolues codées (c_0, c_1,..., c_{m-1}) exprimées par le changement de variable utilisant les variables relatives codées (z0, z1,..., z_{n-1}), et dans lequel la trame de symboles comprend lesdites variables absolues codées (c_0, c_1,..., cm_{-1}).

Description

Titre : Procédé d'encodage relatif d'un signal

Domaine technique

[0001] La présente divulgation relève du domaine des systèmes de communication couplés à des mécanismes de correction d'erreurs, et concerne plus particulièrement un processus d'encodage permettant d'introduire une représentation relative de l'information dans la transmission d'une trame source dans les systèmes de communication.

Technique antérieure

[0002] Afin de transmettre les éléments (ou symboles) d'un message ou d'une information à travers un système de communication, des processus de modulation (en émission) et de démodulation (en réception) du message sont mis en œuvre afin d'adapter le message au canal de transmission du système de communication.

[0003] Pour diverses raisons, certains systèmes de communication (et donc les processus de modulation et démodulation associés) s'appuient sur une représentation relative (ou différentielle, par opposition à une représentation absolue) de l'information en vue de sa transmission et/ou de son traitement. Typiquement, certains processus en réception des systèmes de communication consistent à traiter l'information reçue, non pas en considérant des valeurs absolues estimées pour chaque symbole reçu, mais des écarts ou décalages relatifs entre symboles.

[0004] Un exemple de représentation relative de l'information peut être illustré de façon simple en considérant une trame de 5 symboles $[x_0, x_1, x_2, x_3, x_4]$, chaque symbole encodant k bits d'information et pouvant donc prendre 2^k valeurs possibles. Une représentation relative d'une telle trame peut par exemple être $[x_{0/1}, x_{1/2}, x_{2/3}, x_{3/4}] = [x_0 - x_1, x_1 - x_2, x_2 - x_3, x_4 - x_3]$.

[0005] Dans un autre exemple illustrant un contexte possible d'utilisation d'une représentation relative de l'information, la modulation dite CCSK (en anglais *Cyclic Code Shift Keying*) permet de moduler deux bits (ou plus selon la taille de la séquence) d'information de façon orthogonale pour représenter une séquence via des rotations de cette séquence. Ainsi, en considérant une séquence de quatre symboles complexes [a ; b ; c ; d], 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. Une telle modulation permet alors de coder l'information par rapport à une séquence de référence, de sorte que les symboles sont indépendants les uns des autres. En particulier, une erreur de transmission affectant un symbole CCSK ne se répercute pas sur les symboles suivants.

[0006] La modulation CCSK mise en œuvre permet alors de représenter la séquence à transmettre sous la forme d'une trame temps-fréquence, dite trame CCSK-CP-OFDM, dans laquelle chacun des N symboles CCSK de taille K à transmettre est transmis sur un des N pas de temps et sur K sous-porteuses en fréquence. En réception, une telle trame CCSK-CP-OFDM peut alors être traitée en considérant une représentation relative de l'information, par exemple par des processus d'égalisation

du canal de transmission, pour obtenir une représentation de la trame sous la forme d'une matrice (ou tenseur) P de distributions de probabilités de décalages relatifs entre symboles de la trame :

[0007] [Math. 1] $$P = \begin{pmatrix} P_{0/0} & \cdots & P_{N-1/0} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{0/N-1} & \cdots & P_{N-1/N-1} \end{pmatrix}$$

[0008] En particulier, chaque coefficient $P_{i/j}$ d'une telle matrice contient un vecteur de taille K (de la taille d'un symbole CCSK) représentant les probabilités de décalage relatif entre les symboles i et j. Par exemple, pour une trame contenant N=5 symboles CCSK de taille K= 4 (encodant chacun 2 bits d'information), si $P_{3/5}$ = [0.2 ; 0.3 ; 0.1 ; 0.4], cela signifie que la probabilité d'un décalage nul du symbole 3 par rapport au symbole 5 est de 0.2, la probabilité d'un décalage de un du symbole 3 par rapport au symbole 5 est de 0.3, la probabilité d'un décalage de deux du symbole 3 par rapport au symbole 5 est de 0.1 et la probabilité d'un décalage de trois du symbole 3 par rapport au symbole 5 est de 0.4. Ainsi, la matrice P déterminée en réception d'une trame permet d'estimer que le décalage le plus probable du symbole 3 par rapport au symbole 5 est de Argmax($P_{3/5}$) = 3.

[0009] La représentation relative de l'information (par exemple obtenue en considérant des probabilités de décalages relatifs entre symboles CCSK en réception, à partir d'une modulation de type CCSK-CP-OFDM en émission, comme décrit précédemment, ou en considérant des probabilités de différences d'angles ou de phases en réception dans le cas d'une modulation QPSK, une telle représentation relative n'étant pas limitée à la modulation CCSK) présente alors plusieurs avantages, exploitables notamment en réception de l'information. En particulier, elle permet, au moment du traitement en réception, d'enrichir l'estimation des symboles et d'exploiter une redondance d'information, en exploitant les relations entre les informations relatives reçues. Par exemple, la matrice P reçue reflète des relations de symétrie et/ou de chaînage entre les coefficients. Typiquement, $P_{i/j}$ (probabilités de décalages relatifs du symbole i par rapport au symbole j) et $P_{j/i}$ (probabilités de décalages relatifs du symbole j par rapport au symbole i) sont reliés ; $P_{i/a}$, $P_{a/j}$ et $P_{i/j}$ sont également reliés. Plus généralement, la représentation relative de l'information peut permettre de représenter, en réception, une trame transmise (e.g., sous forme de symboles CCSK ou avec toute autre modulation) par de multiples estimations du canal de transmission (i.e., que chaque transmission reflète une estimation possible des relations entre les symboles). Le croisement de ces estimations relatives au moment du traitement en réception de la trame permet alors d'améliorer l'estimation de la valeur de chaque symbole. Les traitements en réception de la trame s'appuient alors sur des processus travaillant sur une représentation relative des symboles.

[0010] Par ailleurs, afin de pallier aux erreurs et défauts de transmission (e.g., liées au bruit) du message (indépendamment de sa représentation relative ou absolue), il est connu de recourir à des mécanismes de correction d'erreurs, utilisant notamment des codes correcteurs d'erreurs (en anglais *Error-Correcting Code* ou ECC), s'appuyant sur la redondance de l'information transmise. L'essentiel des codes correcteurs sont des codes linéaires, dont un exemple simple est le code de répétition, qui consiste à envoyer chaque symbole du message à transmettre plusieurs fois (créant ainsi de la

redondance d'information), afin d'augmenter la probabilité de détecter des incohérences dans le message et d'obtenir les symboles corrects en réception.

[0011] Afin de mutualiser les avantages à la fois de la représentation relative de l'information et de la correction d'erreurs dans la transmission de messages, il existe alors un besoin d'adapter les mécanismes de correction d'erreurs à la nature relative de la représentation de l'information ainsi que de son traitement en réception. En particulier, la phase d'émission – et notamment l'encodage - de l'information à transmettre requiert de prendre en compte une telle spécificité.

Résumé

[0012] La présente divulgation vient alors répondre à une telle problématique.

[0013] Il est proposé un procédé d'encodage d'un message source à transmettre sur un canal de transmission via une trame de symboles, le message source comprenant un premier nombre de variables initiales, chaque variable initiale étant discrète et prenant des valeurs parmi un ensemble fini, le procédé comprenant les étapes suivantes :

- déterminer un deuxième nombre de variables dites relatives, les variables relatives étant exprimées par un changement de variable utilisant les variables initiales,
- encoder les variables relatives en utilisant une matrice de codage prédéfinie, ledit encodage résultant en un troisième nombre de variables relatives dites codées, le troisième nombre étant supérieur au deuxième nombre,
- déterminer un quatrième nombre de variables dites absolues codées, les variables absolues codées étant exprimées par le changement de variable utilisant les variables relatives codées,

et dans lequel la trame de symboles à transmettre comprend lesdites variables absolues codées.

[0014] Par conséquent, le procédé d'encodage proposé permet d'introduire des relations relatives entre les éléments du message source, à savoir les variables initiales ou symboles initiaux. Un tel encodage est particulièrement avantageux pour des traitements en réception d'une trame (i.e., en sortie du canal de transmission) s'appuyant et/ou tirant parti d'une représentation relative de l'information, de tels traitements dans l'espace relatif pouvant par exemple correspondre à des processus de démodulation et/ou de décodage s'appuyant sur de l'information relative. Un tel encodage permet donc de tirer parti des avantages exploitables (notamment, d'une meilleure restitution du signal reçu) en réception par la représentation relative de l'information en adaptant le signal à cette fin au stade de l'encodage.

[0015] De plus, le procédé d'encodage proposé permet d'introduire une redondance d'une telle information relative par codage, permettant d'introduire un mécanisme de correction d'erreurs de transmission au sein de la trame source à transmettre.

[0016] En particulier, le procédé propose un encodage permettant d'exprimer des relations relatives au sein de l'information source, tout en permettant une transmission dans un canal de transmission (et plus généralement via un système de communication) de façon générique dans une trame source,

quel que soit le processus de modulation utilisé, et dans lequel il n'existe pas de structure (notamment relative) entre les symboles reçus en sortie du canal de transmission. Le procédé proposé peut donc être facilement intégré comme une brique d'encodage dans toute structure de transmission d'information existante.

[0017] En effet, par la transmission de symboles absolus codés, le procédé d'encodage proposé permet de rendre l'introduction de relations relatives dans l'information « invisible » pour le système de communication, puisque ce dernier reçoit une trame source à transmettre (notamment après modulation) contenant des symboles absolus codés, formatée comme toute trame de symboles codés existante. Ainsi, tout processus de modulation (différentiel ou non) peut être employé pour moduler la trame de symboles à transmettre, tout en permettant, en réception, une mise en œuvre de processus tirant spécifiquement parti de relations relatives entre éléments du message source.

[0018] Les caractéristiques exposées dans les paragraphes suivants peuvent, optionnellement, être mises en œuvre, indépendamment les unes des autres ou en combinaison les unes avec les autres :

[0019] Dans un mode de réalisation, le premier nombre de variables initiales, noté l, et le deuxième nombre de variables relatives, noté k, sont reliés par $l - 1 \leq k$.

[0020] Par conséquent, le procédé d'encodage proposé permet de conserver l'ensemble des éléments contenus dans l'information source, sans perte d'information lors de l'encodage relatif. En effet, le nombre de variables relatives exprimées permet alors d'exprimer toutes les informations du message initial, et d'introduire par ailleurs de la redondance d'informations (en tant que mécanisme de correction d'erreurs) sans perte d'information, lorsque ce deuxième nombre est strictement supérieur au premier nombre.

[0021] Dans un mode de réalisation, le changement de variable exprimant les variables relatives et utilisant les variables initiales correspond à :

$$y_i = x_{i+1} - x_0$$

où y_i est une variable relative, x_{i+1} est une variable initiale, i est un indice numérique compris entre 0 et k-1 et x_0 est une variable initiale fixée.

[0022] Dans un mode de réalisation, le changement de variable exprimant les variables relatives et utilisant les variables initiales correspond à :

$$y_i = x_{i+1} - x_i$$

où y_i est une variable relative, x_i et x_{i+1} sont des variables initiales et i est un indice numérique compris entre 0 et k-1.

[0023] Dans un mode de réalisation, les variables absolues codées sont successivement déterminées à partir :

- du changement de variable exprimant les variables absolues codées et utilisant les variables relatives codées, et

- d'une relation initiale de chainage entre une première variable absolue codée et une première variable initiale.

[0024] Dans un mode de réalisation, ladite relation initiale de chainage correspond à $x_0=c_0$, où x_0 est la première variable initiale et c_0 est la première variable absolue codée..

[0025] Dans un mode de réalisation, le quatrième nombre de variables absolues codées est strictement supérieur au premier nombre de variables initiales.

[0026] Dans un mode de réalisation, le changement de variable exprimant les variables absolues codées et utilisant les variables relatives codées correspond à :

$$z_{i'} = c_{i'+1} - c_0$$

où $z_{i'}$ est une variable relative codée, $c_{i'+1}$ est une variable absolue codée, i' est un indice numérique compris entre 0 et n-1 et c_0 est une variable absolue codée fixée.

[0027] Dans un mode de réalisation, le changement de variable exprimant les variables absolues codées et utilisant les variables relatives codées correspond à :

$$z_{i'} = c_{i'+1} - c_{i'}$$

où $z_{i'}$ est une variable relative codée, $c_{i'}$ et $c_{i'+1}$ sont des variables absolues codées et i' est un indice numérique compris entre 0 et n-1.

[0028] Dans un mode de réalisation, les variables absolues codées sont reliées entre elles par des relations de codage.

[0029] Dans un mode de réalisation, la matrice de codage correspond à un code de Hamming de dimension dépendant du deuxième nombre.

[0030] Plus généralement, le procédé d'encodage permet d'utiliser toute matrice de codage existante.

[0031] Selon un autre aspect, il est proposé un encodeur comprenant au moins :

- une unité de communication configurée pour recevoir des données relatives à un message source comprenant un premier nombre de variables initiales,
- au moins une unité de traitement comprenant au moins un processeur configuré pour mettre en œuvre le procédé proposé.

[0032] Selon un autre aspect, il est proposé un système de communication configuré pour transmettre un message source via un canal de transmission, ledit système de communication comprenant au moins :

- un encodeur tel que proposé précédemment,
- un décodeur configuré pour traiter une trame de symboles reçue, ladite trame comprenant des symboles reflétant des relations de parité relatives reliant des variables initiales contenues dans le message source.

[0033] Selon un autre aspect, il est proposé un programme informatique comportant des instructions pour la mise en œuvre de tout ou partie d'un procédé tel que défini dans les présentes lorsque ce programme est exécuté par un processeur. Selon un autre aspect, il est proposé un support d'enregistrement non transitoire, lisible par un ordinateur, sur lequel est enregistré un tel programme.

Brève description des dessins

[0034] D'autres caractéristiques, détails et avantages apparaîtront à la lecture de la description détaillée ci-après, et à l'analyse des dessins annexés, sur lesquels :

Fig. 1

[0035] [Fig. 1] montre un système de communication comprenant un encodeur selon un mode de réalisation de la présente.

Fig. 2

[0036] [Fig. 2] montre des étapes d'un procédé d'encodage via un espace relatif selon un mode de réalisation de la présente.

Fig. 3

[0037] [Fig. 3] montre un schéma d'encodage via un espace relatif selon un mode de réalisation de la présente.

Description des modes de réalisation

[0038] Il est maintenant fait référence à la figure 1. La figure 1 illustre schématiquement un système de communication 10 (e.g., filaire ou sans fil), configuré pour transmettre une séquence d'information source, également désignée par message source (e.g., un signal audio), depuis une entité source (e.g., un émetteur audio) vers une entité de destination (e.g., un récepteur audio) via un canal de transmission 14. Un tel système de communication 10 peut notamment inclure une entité d'encodage (comprenant elle-même une unité d'encodage du signal 11 et une unité d'encodage du canal de transmission 12), une unité de modulation 13 du signal, le canal de transmission 14, une unité de démodulation 15 du signal et une entité de décodage (comprenant elle-même une unité de décodage du canal de transmission 16 et une unité de décodage du signal 17).

[0039] L'entité d'encodage (également désignée par encodeur) est configurée pour transformer l'information source par exemple un signal analogique ou numérique, en des données dites codées. En particulier, dans le contexte de la présente description, l'encodeur est configuré pour générer, à partir d'une information source, des données codées contenant une représentation relative de l'information. Pour cela, l'encodage peut inclure un circuit de traitement comprenant au moins un processeur, une unité mémoire et des moyens de communication permettant la mise en œuvre d'un tel procédé d'encodage relatif 200 tel que décrit plus loin, selon les figures 2 et 3.

[0040] L'unité de modulation 13 (également désignée par modulateur) est configurée pour adapter l'information source (codée notamment) au canal de transmission 14, par exemple en adaptant le spectre de l'information dans le domaine de fréquence adapté à la transmission. La modulation mise

en œuvre par l'unité de modulation 13 peut par exemple consister à transformer l'information source codée en une trame temps-fréquence composée de symboles CCSK répartis sur une pluralité de pas de temps, chaque symbole CCSK étant réparti sur une pluralité de sous-porteuses en fréquence. Un tel exemple de trame obtenue en sortie de l'unité de modulation 13 peut par exemple être illustrée de la façon suivante :

[0041] [Math. 2] $T_s = \begin{pmatrix} c_0[K-1] & \cdots & c_{N-1}[K-1] \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ c_0[0] & \cdots & c_{N-1}[0] \end{pmatrix}$

[0042] Une telle trame, notée T_s, comprend ici N colonnes représentant N pas de temps et K lignes représentant K sous-porteuses en fréquence. Chaque symbole CCSK contenu dans la trame, noté c_i (i compris entre 0 et N-1) correspond à un symbole à transmettre obtenu en sortie de l'entité d'encodage selon le procédé d'encodage relatif 200. Chaque symbole c_i a une taille K (e.g., est composé de K bits d'information). L'ensemble des symboles $c_0,..c_{N-1}$ constitue donc une représentation de l'information source, contenant notamment une redondance d'information du fait de l'encodage.

[0043] L'unité de modulation peut notamment correspondre à tout modulateur existant, par exemple une unité de modulation de type CCSK-CP-OFDM configurée pour adapter les symboles en sortie de l'unité d'encodage au canal de transmission en une trame T_s, dite CCSK-CP-OFDM telle qu'illustrée en [Math. 2]. Plus généralement, une modulation OFDM peut être utilisée par exemple.

[0044] Une fois codée et modulée, l'information source codée et modulée, représentée par une trame de symboles, peut être transmise via le canal de transmission 14. Le canal de transmission 14 permet alors de faire transiter l'information du côté émetteur 11, 12, 13 vers un côté récepteur 15, 16, 17. Un tel canal de transmission peut par exemple correspondre à un canal hertzien, un canal filaire ou encore un canal optique. Lors d'une telle transmission, le canal de transmission 14 est notamment susceptible d'affecter la trame T_s transmise, par exemple par du bruit, de sorte que la trame de symboles T_r reçue du côté récepteur 15, 16, 17 diffère de la trame T_s transmise. Une problématique du côté récepteur 15, 16, 17 est alors la démodulation et le décodage de la trame T_r reçue en vue de restituer l'information source le plus fidèlement possible. En particulier, il est considéré ici certains démodulateurs 15 et/ou décodeurs 16, 17 configurés pour mettre en œuvre des processus s'appuyant spécifiquement sur une représentation relative de l'information reçue.

[0045] L'unité de démodulation 15 (également désignée par démodulateur) est configurée pour effectuer une opération inverse de celle du modulateur, à savoir extraire les symboles reçus des sous-porteuses en fréquence de la trame reçue T_r.

[0046] Dans un exemple particulier, une telle unité de démodulation 15 peut être reliée ou inclure une unité de traitement en réception, par exemple une unité d'égalisation du canal de transmission, permettant d'obtenir une représentation de la trame reçue T_r sous la forme d'une matrice (ou tenseur) P de distributions de probabilités de décalages relatifs entre symboles de la trame reçue T_r, telle que représentée en [Math.1]. Une telle unité d'égalisation et son processus permettant l'obtention de la matrice P est par exemple illustrée dans le document [DFTLink]. Dans d'autres exemples, tout

traitement en réception permettant d'obtenir une représentation différentielle de la trame reçue, sous forme de données relatives à des différences entre symboles de la trame reçue notamment, peut être utilisée.

[0047] Dans un tel mode de réalisation, l'unité de démodulation 15 permet alors de traiter des données relatives à la trame reçue T_r, correspondant par exemple à la matrice P, de sorte à obtenir une trame démodulée (contenant des symboles démodulés codés). Pour cela, l'unité de démodulation 15 utilisée, au moins en partie, peut être celle décrite dans le document [GLAD].

[0048] L'entité de décodage (également désignée par décodeur) 16, 17 peut alors être configurée pour recevoir et décoder la trame démodulée en sortie de l'unité de démodulation 15. En particulier, une telle entité de décodage est configurée pour mettre en œuvre un décodage des symboles démodulés spécifiquement adapté à la représentation relative des symboles, du fait de l'encodage relatif proposé via le procédé 200.

[0049] Par exemple, dans le mode de réalisation incluant une unité d'égalisation résultant en la matrice P, une telle entité de décodage peut correspondre à un décodeur dit *soft*, utilisant un algorithme probabiliste de décodage basé sur une propagation de convictions – dit *Belief Propagation*. Ainsi, la prise de décision de restitution des symboles à partir de la trame reçue s'appuie sur une décision probabiliste.

[0050] Dans un autre exemple, quelle que soit la démodulation mise en œuvre, l'entité de décodage peut également tirer parti d'une trame reçue en sortie du canal de transmission codée par le procédé d'encodage relatif. Par exemple, l'entité de décodage peut correspondre à un décodeur dit *hard*, utilisant une matrice de parité H pour le décodage et en calculant des syndromes, c'est-à-dire des vecteurs obtenus en multipliant des données relatives aux éléments codés reçus (i.e., les symboles codés dans la trame reçue T_r, éventuellement après traitement par l'unité d'égalisation) par la matrice de parité H. Un tel exemple de décodage tirant parti de la représentation relative introduite lors de la phase d'encodage sera décrit plus loin.

[0051] Dans un autre exemple, le côté récepteur, à savoir les entités de démodulation 15 et de décodage 16, 17, ainsi que l'unité d'égalisation, peuvent correspondre à une entité conjointe de démodulation – décodage, de sorte que les entités 15, 16, 17 peuvent être regroupées en une unique entité, en alternative à la schématisation de la figure 1.

[0052] Il est à présent fait référence à la figure 2. La figure 2 illustre des étapes d'un procédé 200 d'encodage dit relatif, pouvant être mis en œuvre par un encodeur 11, 12 d'un système de communication 10 tel que représenté en figure 1. En particulier, le procédé 200 d'encodage relatif décrit est spécifiquement adapté à un système de communication utilisant, du côté récepteur 15, 16, 17, un processus de démodulation dit relatif, par exemple en mettant en œuvre un processus d'égalisation tel que décrit dans le document [DFTLink], suivi d'un processus de démodulation tel que décrit dans le document [GLAD] et d'un décodage prenant en compte la nature relative des symboles démodulés reçus afin de restituer l'information source [éventuellement à étayer avec des aspects décodage de l'autre demande].

[0053] À une étape S200, l'encodeur reçoit un message source à transmettre via le système de communication 100. Un tel message source peut par exemple être composé d'une séquence de l variables initiales $x_0, x_1,\ldots,x_{l-1}$. Chaque variable initiale x_i (i étant un indice numérique entre 0 et l-1) est discrète et peut prendre des valeurs parmi un ensemble de valeurs d'un corps fini F_K de taille K. Par exemple, lorsque les variables initiales $x_0, x_1,\ldots,x_{l-1}$ correspondent à des bits, donc à valeurs binaires (i.e., des 0 et des 1), $F_{K=2}$ est un corps binaire. Ainsi, $x_0, x_1,\ldots,x_{l-1} \in F_K^l$.

[0054] À une étape S210, l'encodeur définit k nouvelles variables dites relatives, $y_0, y_1,\ldots, y_{k-1}$, les variables relatives $y_0, y_1,\ldots, y_{k-1}$ étant exprimées par un changement de variable utilisant les variables initiales $x_0, x_1,\ldots,x_{l-1}$.

[0055] Le nombre k de variables relatives peut notamment être relié au nombre l de variables initiales $x_0, x_1,\ldots,x_{l-1}$ par $l - 1 \leq k$, de sorte que toutes les variables initiales $x_0, x_1,\ldots,x_{l-1}$ soient représentées et contenues dans les variables relatives $y_0, y_1,\ldots, y_{k-1}$.

[0056] Le changement de variable mis en œuvre à l'étape S210 peut par exemple être :

[0057] [Math. 3] $y_i = x_{i+1} - x_0$,

[0058] où i est un indice numérique compris entre 0 et k-1 et x_0 est la première variable initiale.

[0059] Plus généralement, le changement de variable peut être défini en relation avec une même variable initiale fixe (notée par exemple x_f), différente de la variable x_0.

[0060] Le changement de variable mis en œuvre à l'étape S210 peut, dans un autre exemple (qui sera celui considéré à titre d'exemple illustratif dans la suite de la description du procédé 200), être :

[0061] [Math. 4] $y_i = x_{i+1} - x_i$,

[0062] où i est un indice numérique compris entre 0 et k-1.

[0063] Par conséquent, le changement de variable mis en œuvre à l'étape S210 introduit une représentation relative (i.e., dans un espace relatif) des éléments constituant le message source. L'information traitée à ce stade n'est donc plus une information absolue (à savoir des valeurs des variables initiales $x_0, x_1,\ldots,x_{l-1}$ traduisant directement le contenu, e.g., les mots, du message source) mais une information relative, ici typiquement le décalage entre deux éléments constituant le message source.

[0064] À une étape S220, les variables relatives $y_0, y_1,\ldots, y_{k-1}$ sont encodées en utilisant une matrice de codage (ou matrice génératrice de code) prédéfinie G. Autrement dit, l'étape S220 permet de définir des nouveaux éléments codés contenant à la fois l'information source (e.g., relatives au message source, reflétées par les variables relatives $y_0, y_1,\ldots, y_{k-1}$) et une redondance (e.g., relations entre les éléments message source). On peut par ailleurs définir le nombre n d'éléments codés (i.e., la taille du message ou mot codé), n étant supérieur à k. Ainsi, le rendement de l'encodage mis en œuvre à l'étape S220 peut être défini par k/n.

[0065] Pour cela, l'étape S220 définit une relation d'encodage des variables relatives $y_0, y_1,\ldots, y_{k-1}$ pouvant être exprimée de la façon suivante :

[0066] [Math. 5] $z = y \times G$

[0067] où G correspond à la matrice de codage, y correspond à une matrice $y = [y_0, y_1,\ldots, y_{k-1}]$ contenant les variables relatives $y_0, y_1,\ldots, y_{k-1}$, et z correspond aux éléments codés obtenus, dits variables relatives codées, notées $z_0, z_1,\ldots, z_{n-1}$.

[0068] La matrice de codage G, exprimée dans le même corps fini F_K que les variables initiales, peut par exemple correspondre à un code de Hamming C(n,k), où k correspond au nombre de variables relatives $y_0, y_1,\ldots, y_{k-1}$, et n correspond au nombre de variables relatives codées $z_0, z_1,\ldots, z_{n-1}$.

[0069] Le nombre de variables relatives codées $z_0, z_1,\ldots, z_{n-1}$ est supérieur au nombre de variables relatives $y_0, y_1,\ldots, y_{k-1}$.

[0070] Par exemple, en considérant un nombre l = 5 de variables initiales $x_0, x_1,\ldots,x_4$ et un code de rendement de k/n = 4/8, on définit k=4 variables relatives $y = [y_0, y_1, y_2, y_3]$ résultant en n=8 variables relatives codées, $z = [z_0, z_1,\ldots, z_7]$.

[0071] L'étape d'encodage S220 peut alors utiliser une matrice génératrice de code, correspondant à un code de Hamming C(8,4), suivante :

[0072] [Math. 6] : $\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$

[0073] Dans un autre mode de réalisation, toute autre nature de matrice génératrice de code existante peut également être utilisée.

[0074] Dans un tel exemple, la relation d'encodage définie à [Math. 5] s'exprime de la façon suivante :

[0075] [Math. 7] : $[z_0, z_1,\ldots, z_7] = [y_0, y_1, y_2, y_3] \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$

[0076] Une telle relation [Math. 7] peut alors se traduire par un système d'équations reliant les variables relatives et relatives codées de la façon suivante :

[0077] [Math. 8] : $\begin{cases} z_0 = y_0 \\ z_1 = y_1 \\ z_2 = y_2 \\ z_3 = y_3 \\ z_4 = y_0 + y_1 + y_2 \\ z_5 = y_0 + y_1 + y_3 \\ z_6 = y_0 + y_2 + y_3 \\ z_7 = y_1 + y_2 + y_3 \end{cases}$

[0078] L'étape S220 permet alors d'obtenir, à partir de k = 4 variables relatives contenant l'information source (sous une représentation relative), des variables relatives codées contenant à la fois :

- la représentation relative de l'information source (i.e., les quatre premières variables relatives codées z_0, z_1, z_2, z_3 contiennent l'information source, se traduisant par une relation d'identité entre les variables relatives et des variables relatives codées), et
- l'introduction d'une redondance d'information source du fait du codage (i.e., les quatre dernières variables relatives codées z_4, z_5, z_6, z_7, se traduisant par des relations entre les variables relatives).

[0079] Le nombre n = 8 de variables relatives codées permet donc de quantifier le codage et donc la quantité de redondance introduite à l'étape S220.

[0080] À une étape S230, un deuxième changement de variable lié au premier changement de variable est mis en œuvre sur les variables relatives codées z_0, z_1,…, z_{n-1}, de sorte à déterminer m variables dites absolues codées c_0, c_1,…, c_{m-1}. Un tel deuxième changement de variable correspond notamment au même changement de variable utilisé à l'étape S210 pour obtenir les variables relatives y_0, y_1,…, y_{k-1}.

[0081] Par exemple en considérant le changement de variable utilisé correspondant à [Math. 4] à l'étape S210, on peut définir les m (où m = n+1 du fait du changement de variable) variables absolues codées c_0, c_1,…, c_{m-1} de la façon suivante :

[0082] [Math. 9] : $z_i = c_{i+1} - c_i$,

[0083] où i est un indice numérique compris entre 0 et n-1.

[0084] En appliquant la relation [Math. 9] à l'exemple précédent avec l'expression [Math. 8] des variables relatives codées z_0, z_1,…, z_{n-1}, on obtient un nouveau système d'équations suivant à l'étape S230, définissant des nouvelles variables absolues codées c_0, c_1,…, c_{m-1} à transmettre :

[0085] [Math. 10] :
$$\begin{cases} (c_1 - c_0) = z_0 = y_0 = (x_1 - x_0) \\ (c_2 - c_1) = z_1 = y_1 = (x_2 - x_1) \\ (c_3 - c_2) = z_2 = y_2 = (x_3 - x_2) \\ (c_4 - c_3) = z_3 = y_3 = (x_4 - x_3) \\ (c_5 - c_4) = z_4 = y_0 + y_1 + y_2 = (x_1 - x_0) + (x_2 - x_1) + (x_3 - x_2) \\ (c_6 - c_5) = z_5 = y_0 + y_1 + y_3 = (x_1 - x_0) + (x_2 - x_1) + (x_4 - x_3) \\ (c_7 - c_6) = z_6 = y_0 + y_2 + y_3 = (x_1 - x_0) + (x_3 - x_2) + (x_4 - x_3) \\ (c_8 - c_7) = z_7 = y_1 + y_2 + y_3 = (x_2 - x_1) + (x_3 - x_2) + (x_4 - x_3) \end{cases}$$

[0086] En particulier, le nombre m de variables absolues codées c_0, c_1,…, c_{m-1} découle alors directement du nombre n de variables relatives codées z_0, z_1,…, z_{n-1} et du changement de variable utilisé, ici m = n+1 (comme illustré en figure 3 avec les n+1 variables c_0, c_1,…, c_n).

[0087] À l'issue de l'étape S230, le procédé 200 permet alors d'introduire m variables absolues codées c_0, c_1,…, c_{m-1} formatées pour être transmises via le système de communication 100. En particulier, de telles variables absolues codées permettent à la fois :

- de visualiser l'information source sous une forme relative (i.e., les variables initiales x_0, x_1,…,x_{l-1} du message source apparaissent sous la forme de relations relatives), et

- d'introduire une redondance d'information du fait du codage (i.e., les m=8 variables absolues codées permettent de faire apparaître 4 nouvelles variables, là où le message source ne contient que 4 variables initiales).

[0088] L'étape S230 permet alors d'exprimer des symboles absolus codés $c_0, c_1,\ldots, c_{m-1}$ pour la transmission via le système de communication.

[0089] À une étape S240, les valeurs de telles m variables absolues codées $c_0, c_1,\ldots, c_{m-1}$ sont déterminées en vue de leur transmission. Pour cela, les variables absolues codées $c_0, c_1,\ldots, c_{m-1}$ sont successivement, de proche en proche, déterminées à partir :

- du changement de variable exprimant les variables absolues codées $c_0, c_1,\ldots, c_{m-1}$ et utilisant les variables relatives codées $z_0, z_1,\ldots, z_{n-1}$, et
- d'une relation (initiale) de chainage entre une première variable absolue codée c_0 et une première variable initiale x_0. Une telle relation de chainage peut également relier d'autres variables, selon la relation de changement de variable utilisée à l'étape S210.

[0090] Par exemple, en référence à l'exemple illustré précédemment, les variables absolues codées $c_0, c_1,\ldots, c_{m-1}$ sont déterminées avec la règle suivante :

[0091] [Math. 11] : $\begin{cases} c_0 = x_0 \\ c_{i+1} = z_i + c_i \end{cases}$

[0092] Ainsi, à l'étape S240, les m variables absolues codées $c_0, c_1,\ldots, c_{m-1}$ à transmettre peuvent toutes être déterminées de façon absolue.

[0093] En particulier, de par la définition des variables absolues codées $c_0, c_1,\ldots, c_{m-1}$, des relations de parité (ou relations de codage) S entre ces dernières existent et peuvent permettre de contraindre le processus de décodage intervenant ensuite. Dans l'exemple considéré, de telles relations de parité peuvent être exprimées de la façon suivante, en relatif et en absolu respectivement :

[0094] [Math. 12] : $S = \begin{cases} (c_5 - c_4) = (c_1 - c_0) + (c_2 - c_1) + (c_3 - c_2) \\ (c_6 - c_5) = (c_1 - c_0) + (c_2 - c_1) + (c_4 - c_3) \\ (c_7 - c_6) = (c_1 - c_0) + (c_3 - c_2) + (c_4 - c_3) \\ (c_8 - c_7) = (c_2 - c_1) + (c_3 - c_2) + (c_4 - c_3) \end{cases}$

[0095] [Math. 13] : $S = \begin{cases} c_5 = -c_0 + c_3 + c_4 \\ c_6 = -c_0 + c_2 + c_4 - c_3 + c_5 \\ c_7 = c_1 - c_0 - c_2 + c_4 + c_6 \\ c_8 = -c_1 + c_4 + c_7 \end{cases}$

[0096] À une étape S250, une trame T_s de symboles codés peut donc être déterminée en sortie de l'encodeur pour être modulée puis transmise via le canal de transmission 14 du système de communication 100. De tels symboles codés correspondent en particulier aux variables absolues codées $c_0, c_1,\ldots, c_{m-1}$.

[0097] Il est à noter que de telles variables absolues codées $c_0, c_1,\ldots, c_{m-1}$ peuvent être interprétées de façon classique par tout système de communication, et peuvent en particulier être traitées par tout modulateur 13, en vue de la transmission d'une trame source T_s. De telles variables absolues codées $c_0, c_1,\ldots, c_{m-1}$ contiennent néanmoins de l'information interprétable de façon relative par tout

processus aval (de démodulation et/ou de décodage) s'appuyant sur une représentation relative de l'information.

[0098] Le procédé 200 tel que décrit en figure 2 est résumé de façon schématique sur la figure 3. La figure 3 illustre la spécificité de traitement proposé, travaillant à la fois sur les espaces absolu et relatif (i.e., des espaces de représentation des valeurs, variables, symboles), à la fois pour introduire des relations relatives entre les variables du message source, et permettre une transmission générique, absolue, par tout système de communication 100 (notamment, toute unité de modulation 13, tout canal de transmission 14). Un tel procédé d'encodage peut donc être introduit à tout système de communication 100, quelle que soit les modulation et démodulation utilisées et permettre un décodage adapté s'appuyant sur une représentation relative de l'information.

[0099] Par exemple, un décodage tirant parti de l'encodage relatif proposé peut utiliser une matrice de parité H, exprimée dans le même corps fini F_K que G, et calculer des syndromes, c'est-à-dire des vecteurs obtenus en multipliant les éléments codés reçus (i.e., les symboles codés dans la trame reçue T_r) par la matrice de parité H. Une telle matrice H peut être définie par :

[0100] [Math. 14] : $GH^T=0$,

[0101] où G correspond à la matrice de codage utilisée dans le procédé d'encodage à l'étape S220.

[0102] Par exemple, en reprenant l'exemple de la matrice de codage G = C(8,4) illustrée en [Math. 6], la matrice de parité H considérée en décodage, considérée dans le corps fini $F_{K=4}$, peut être :

[0103] [Math. 15] : $$H = \begin{bmatrix} 3 & 3 & 3 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 3 & 0 & 3 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 3 & 0 & 3 & 3 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 3 & 3 & 3 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

[0104] Le syndrome noté s peut alors être défini comme :

[0105] [Math. 16] : $s = b\mathrm{H}^{\mathrm{T}}$

[0106] où b est un élément codé reçu (différent des valeurs absolues codées car potentiellement affecté lors de la transmission) et H la matrice de parité du code.

[0107] Ici, du fait de l'encodage choisi, les éléments codés reçus ne sont pas directement des vecteurs de symboles reçus traduisant directement l'information source, mais des symboles virtuels relatifs calculés en réception (par exemple via l'algorithme décrit dans le document [DFTLink] ou tout autre processus permettant de calculer des relations relatives entre symboles reçus) sur la base des symboles effectivement reçus. Ainsi, si les symboles reçus sont notés p_i, les symboles relatifs peuvent être calculés comme des différences entre symboles reçus et notés $p_{i/j} = p_i - p_j$.

[0108] De même, l'erreur e_i effectivement subie par le symbole physique i de la trame source n'est pas la même que l'erreur perçue par le mécanisme de décodage qui travaille sur les symboles relatifs et donc des erreurs, elles-mêmes relatives $e_{i/j} = e_i - e_j$.

[0109] En considérant $z = [z_0, z_1, \ldots, z_{n-1}]$ le vecteur de valeurs relatives codées obtenu précédemment à l'étape S220, $p_/$ le vecteur de symboles relatifs correspondant calculé en réception, et $e_/$ le vecteur d'erreurs relatives subi par le système, on voit que :

[0110] [Math. 17] : $s = p_/H^T = (z + e_/)H^T = (yG + e_/)H^T = yGH^T + e_/H^T = e_/H^T$

[0111] Ainsi, on voit que la valeur du syndrome s ne dépend que du vecteur d'erreur $e_/$, en l'occurrence relatif. Par ailleurs, (pour des vecteurs d'erreur comprenant un nombre d'erreurs dans la capacité de correction du code considéré), il existe un unique vecteur d'erreur associé à chaque syndrome s, de telle sorte que le calcul du syndrome permet de déduire sans ambiguïté le vecteur d'erreur ayant affecté la communication. La correction d'erreur qui en découle permet alors le décodage suivant :

[0112] [Math. 18] : $\hat{z} = p_/ - \widehat{e_/} = p_/ - f(s) = p_/ - f(p_/H^T)$

[0113] où $\hat{z}$ est l'estimation de l'élément codé relatif transmis (à partir desquels il est possible de déduire les symboles « absolus », notés $\hat{x}$ correspondant) et $f(s)$ la fonction, bijective, associant de manière unique un syndrome au vecteur d'erreur correspondant, f(s) pouvant être vue comme une table (où, pour tous les vecteurs d'erreurs possibles, les syndromes correspondants sont calculés).

Liste des signes de référence

[0114] – 10 : système de communication

- 11 : Unité d'encodage du signal
- 12 : unité d'encodage du canal de transmission
- 13 : unité de modulation
- 14 : canal de transmission
- 15 : unité de démodulation
- 16 : unité de décodage du canal de transmission
- 17 : unité de décodage du signal
- l : (premier) nombre de variables initiales
- $x_0, x_1, \ldots, x_{l-1}$: variables initiales
- F_K : corps fini de taille K
- k : (deuxième) nombre de variables relatives
- $y_0, y_1, \ldots, y_{k-1}$: variables relatives
- y : matrice de variables relatives
- n : (troisième) nombre de variables relatives codées
- $z_0, z_1, \ldots, z_{n-1}$: variables relatives codées

- z : matrice de variables relatives codées

- m : (quatrième) nombre de variables absolues codées

- c_0, c_1,…, c_{m-1} : variables absolues codées

- G : matrice de codage

Liste des documents cités

Documents brevets

[0115] À toute fin utile, les documents brevets suivants sont cités :

- [DFTLink] : FR 23 06540

- [GLAD] : FR 23 14765.

Revendications

[Revendication 1] Procédé d'encodage d'un message source à transmettre sur un canal de transmission via une trame de symboles, le message source comprenant un premier nombre (l) de variables initiales (x_0, x_1,…,x_{l-1}), chaque variable initiale étant discrète et prenant des valeurs parmi un ensemble fini (F), le procédé comprenant les étapes suivantes :

- déterminer un deuxième nombre (k) de variables dites relatives (y_0, y_1,…, y_{k-1}), les variables relatives (y_0, y_1,…, y_{k-1}) étant exprimées par un changement de variable utilisant les variables initiales (x_0, x_1,…,x_{l-1}),
- encoder les variables relatives (y_0, y_1,…, y_{k-1}) en utilisant une matrice de codage prédéfinie (G), ledit encodage résultant en un troisième nombre (n) de variables relatives dites codées (z_0, z_1,…, z_{n-1}), le troisième nombre (n) étant supérieur au deuxième nombre (k),
- déterminer un quatrième nombre (m) de variables dites absolues codées (c_0, c_1,…, c_{m-1}), les variables absolues codées (c_0, c_1,…, c_{m-1}) étant exprimées par le changement de variable utilisant les variables relatives codées (z_0, z_1,…, z_{n-1}),

et dans lequel la trame de symboles à transmettre comprend lesdites variables absolues codées (c_0, c_1,…, c_{m-1}).

[Revendication 2] Procédé selon la revendication 1, dans lequel le premier nombre (l) de variables initiales (x_0, x_1,…,x_{l-1}) et le deuxième nombre (k) de variables relatives (y_0, y_1,…, y_{k-1}) sont reliés par $l - 1 \leq k$, où i est le premier nombre et k est le deuxième nombre.

[Revendication 3] Procédé selon la revendication 2, dans lequel le changement de variable exprimant les variables relatives (y_0, y_1,…, y_{k-1}) et utilisant les variables initiales (x_0, x_1,…,x_{l-1}) correspond à :

$$y_i = x_{i+1} - x_0$$

où y_i est une variable relative, x_{i+1} est une variable initiale, i est un indice numérique compris entre 0 et k-1 et x_0 est une variable initiale fixée.

[Revendication 4] Procédé selon la revendication 2, dans lequel le changement de variable exprimant les variables relatives (y_0, y_1,…, y_{k-1}) et utilisant les variables initiales (x_0, x_1,…,x_{l-1}) correspond à :

$$y_i = x_{i+1} - x_i$$

où y_i est une variable relative, x_i et x_{i+1} sont des variables initiales et i est un indice numérique compris entre 0 et k-1.

[Revendication 5] Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel les variables absolues codées (c_0, c_1,…, c_{m-1}) sont successivement déterminées à partir :

- du changement de variable exprimant les variables absolues codées (c_0, c_1,…, c_{m-1}) et utilisant les variables relatives codées (z_0, z_1,…, z_{n-1}), et

- d'une relation initiale de chainage entre une première variable absolue codée (c_0) et une première variable initiale (x_0).

[Revendication 6] Procédé selon la revendication 5, dans lequel ladite relation initiale de chainage correspond à $x_0=c_0$ où x_0 est la première variable initiale et c_0 est la première variable absolue codée.

[Revendication 7] Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le quatrième nombre (m) de variables absolues codées est strictement supérieur au premier nombre (l) de variables initiales (x_0, x_1,…,x_{l-1}).

[Revendication 8] Procédé selon la revendication 3, dans lequel le changement de variable exprimant les variables absolues codées (c_0, c_1,…, c_{m-1}) et utilisant les variables relatives codées (z_0, z_1,…, z_{n-1}) correspond à :

$$z_{i'} = c_{i'+1} - c_0$$

où $z_{i'}$ est une variable relative codée, $c_{i'+1}$ est une variable absolue codée, i' est un indice numérique compris entre 0 et n-1 et c_0 est une variable absolue codée fixée.

[Revendication 9] Procédé selon la revendication 4, dans lequel le changement de variable exprimant les variables absolues codées (c_0, c_1,…, c_{m-1}) et utilisant les variables relatives codées (z_0, z_1,…, z_{n-1}) correspond à :

$$z_{i'} = c_{i'+1} - c_{i'}$$

où $z_{i'}$ est une variable relative codée, $c_{i'}$ et $c_{i'+1}$ sont des variables absolues codées et i' est un indice numérique compris entre 0 et n-1.

[Revendication 10] Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel les variables absolues codées (c_0, c_1,…, c_{m-1}) sont reliées entre elles par des relations de codage (S).

[Revendication 11] Encodeur (11, 12) comprenant au moins :

- une unité de communication configurée pour recevoir des données relatives à un message source comprenant un premier nombre (l) de variables initiales (x_0, x_1,…,x_{l-1}),
- au moins une unité de traitement comprenant au moins un processeur configuré pour mettre en œuvre le procédé selon l'une des revendications précédentes.

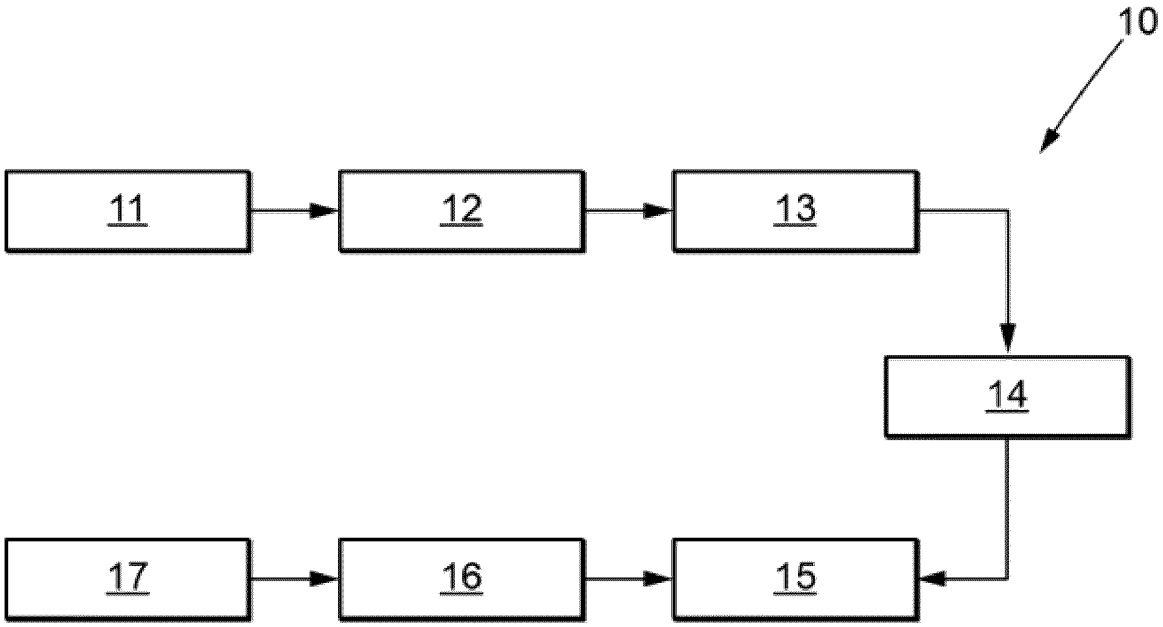
[Revendication 12] Système de communication (1) configuré pour transmettre un message source via un canal de transmission (14), ledit système de communication (1) comprenant au moins :

- un encodeur selon la revendication 11,
- un décodeur configuré pour traiter une trame de symboles reçue, ladite trame comprenant des symboles reflétant des relations de parité relatives reliant des variables initiales (x_0, x_1,…,x_{l-1}) contenues dans le message source.

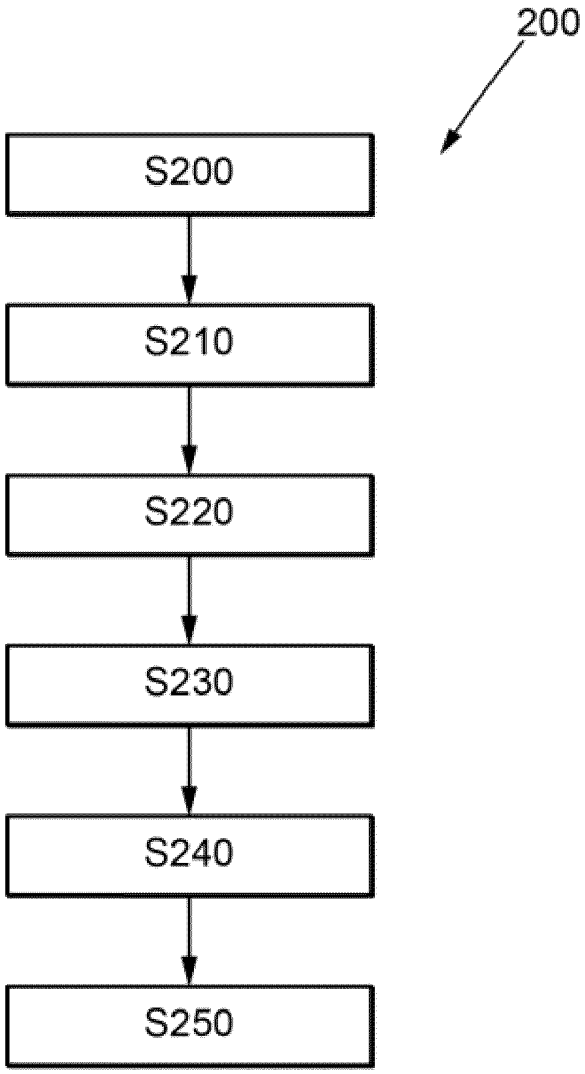
[Revendication 13] Programme informatique comportant des instructions pour la mise en œuvre du procédé selon l'une des revendications 1 à 10 lorsque ce programme est exécuté par un processeur.

[Revendication 14] Support d'enregistrement non transitoire lisible par un ordinateur sur lequel est enregistré un programme pour la mise en œuvre du procédé selon l'une des revendications 1 à 10 lorsque ce programme est exécuté par un processeur.

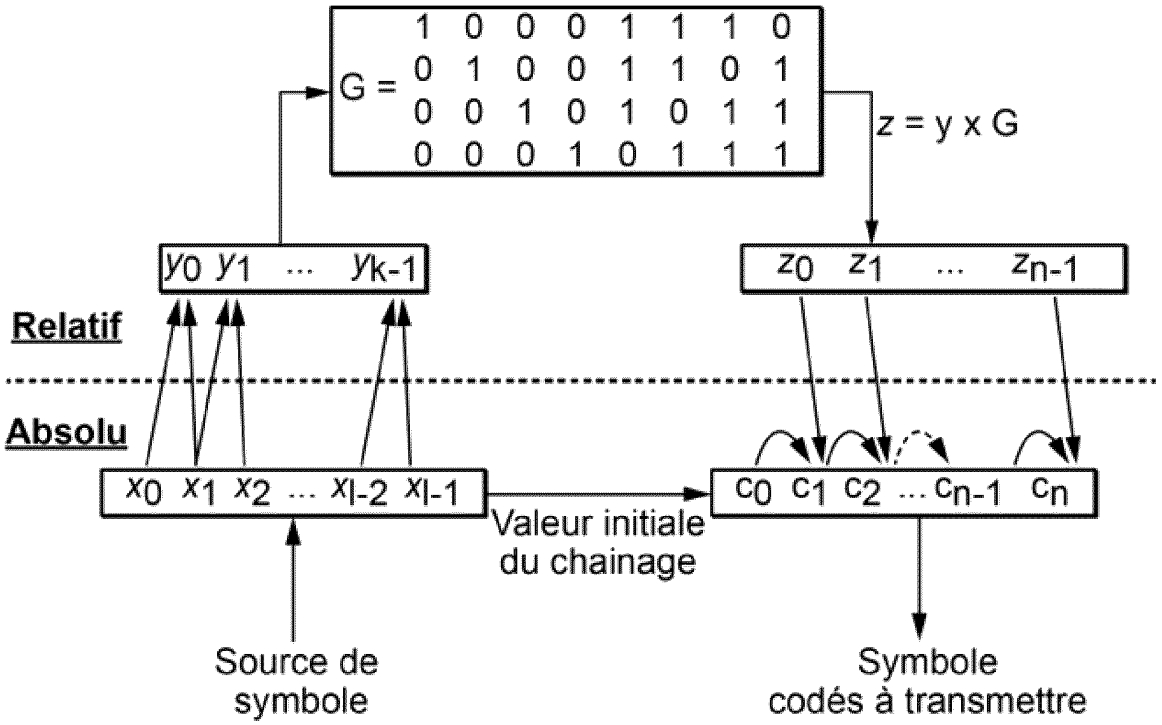
[Fig. 1]



[Fig. 2]



[Fig. 3]


G =
1 0 0 0 1 1 1 0
0 1 0 0 1 1 0 1
0 0 1 0 1 0 1 1
0 0 0 1 0 1 1 1
z = y x G
y0 y1 ... yk-1
z0 z1 ... zn-1
Relatif
Absolu
x0 x1 x2 ... xl-2 xl-1
c0 c1 c2 ... cn-1 cn
Valeur initiale du chainage
Source de symbole
Symbole codés à transmettre

TRANSLATION

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/EP2025/077098

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H03M 13/00(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)

H04J; H04L; H03M

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.
A	US 5168509 A (NAKAMURA MAKOTO [JP] ET AL) 01 December 1992 (1992-12-01) column 2, line 2 - line 8 column 2, line 44 - line 56	1-14
A	US 2002133644 A1 (FANG JUING [US]) 19 September 2002 (2002-09-19) claim 5	1-14

☐ 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
16 January 2026	**23 January 2026**
Name and mailing address of the ISA/EP **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**	Authorized officer **Douglas, Ian** Telephone No.

TRANSLATION

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/EP2025/077098

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
US 5168509 A	01 December 1992	NONE	
US 2002133644 A1	19 September 2002	AT E260005 T1	15 March 2004
		DE 60102067 T2	05 August 2004
		EP 1223701 A1	17 July 2002
		FR 2819654 A1	19 July 2002
		US 2002133644 A1	19 September 2002

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°
PCT/EP2025/077098

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE

INV. H03M13/00
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)
H04J H04L H03M

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
A	US 5 168 509 A (NAKAMURA MAKOTO [JP] ET AL) 1 décembre 1992 (1992-12-01) colonne 2, ligne 2 - ligne 8 colonne 2, ligne 44 - ligne 56 -----	1-14
A	US 2002/133644 A1 (FANG JUING [US]) 19 septembre 2002 (2002-09-19) revendication 5 -----	1-14

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

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée
"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
"X" document particulièrement pertinent;; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
"Y" document particulièrement pertinent;; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
"&" 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
16 janvier 2026	23/01/2026

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	Douglas, Ian

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°
PCT/EP2025/077098

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 5168509 A	01-12-1992	AUCUN	
US 2002133644 A1	19-09-2002	AT E260005 T1	15-03-2004
		DE 60102067 T2	05-08-2004
		EP 1223701 A1	17-07-2002
		FR 2819654 A1	19-07-2002
		US 2002133644 A1	19-09-2002