

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

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international



(10) Numéro de publication internationale
WO 2014/053756 A1

(43) Date de la publication internationale
10 avril 2014 (10.04.2014)

WIPO | PCT

(51) Classification internationale des brevets :
H04L 27/26 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2013/052319

(22) Date de dépôt international :
30 septembre 2013 (30.09.2013)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1259514 5 octobre 2012 (05.10.2012) FR

(71) Déposant : ORANGE [FR/FR]; 78 rue Olivier de Serres,
F-75015 Paris (FR).

(72) Inventeurs : LANOISELEE, Marc; 29 rue de la Jannaie,
F-35520 La Chapelle Des Fougeretz (FR). JAHAN, Bruno;
1 allée de la Rabine, F-35190 Tinteniach (FR).

(74) Mandataire : ORANGE/IMT/OLPS/IPL/PAT; JEUNE
Pascalle, 38-40 rue du Général Leclerc, F-92794 Issy Mou-
lineaux Cedex 9 (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, CZ, DE, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR,
KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME,
MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ,
OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA,
SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM,
ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,
GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, 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, 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).

Déclarations en vertu de la règle 4.17 :

— relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv)

Publiée :

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

(54) Title : METHOD FOR THE TRANSMISSION OF A MULTI-CARRIER SIGNAL, AND CORRESPONDING TRANSMISSION DEVICE AND COMPUTER PROGRAM

(54) Titre : PROCEDE DE TRANSMISSION D'UN SIGNAL MULTIPORTEUSE, DISPOSITIF DE TRANSMISSION ET PROGRAMME D'ORDINATEUR CORRESPONDANTS

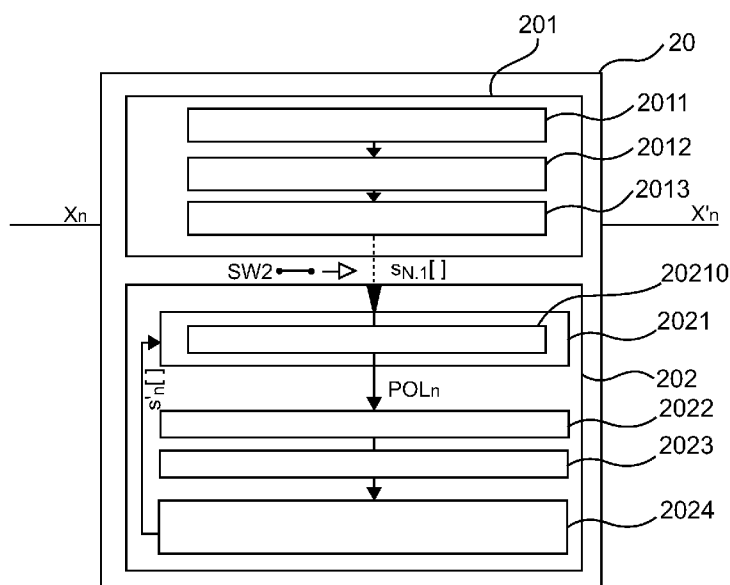


Fig. 2

(57) Abstract : The invention relates to a method for the multi-carrier transmission of a signal comprising OFDM blocks formed by a set of N carriers modulated by a constellation symbol. According to the invention, the method comprises a first phase (201) for the pre-construction of a set of M time samples representative of N carriers, comprising for each carrier: pre-construction (2011) of a set of M time samples associated with the carrier and storing (2012) of the M time samples by pairing said M time samples associated with the carrier with the M time samples associated with the preceding carrier; and a second phase (202) for the correction of the constellation symbols, comprising for each carrier: detection (2022) of a power peak from among the M time samples delivering an item of complex correction control information, correction (2022) of the constellation symbol modulating the carrier according to the complex correction control information, and updating (2023) of the set of M time samples.

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]



L'invention concerne un procédé de transmission multiporteuse d'un signal comprenant des blocs OFDM constitués d'un ensemble de N porteuses modulées par un symbole de constellation, Selon l'invention, le procédé comprend une première phase (201) de pré-construction d'un ensemble de M échantillons temporels représentatifs des N porteuses, comprenant pour chaque porteuse: - pré-construction (2011) d'un ensemble de M échantillons temporels associés à ladite porteuse, - mémorisation (2012) desdits M échantillons temporels en associant deux à deux lesdits M échantillons temporels associés à ladite porteuse avec les M échantillons temporels associés aux porteuses précédentes, et une deuxième phase (202) de correction des symboles de constellation, comprenant pour chaque porteuse : - détection (2021) d'un pic de puissance parmi les M échantillons temporels délivrant une information de contrôle de correction complexe, - correction (2022) du symbole de constellation modulant la porteuse en fonction de l'information de contrôle de correction complexe, - actualisation (2023) de l'ensemble de M échantillons temporels.

Procédé de transmission d'un signal multiporteuse, dispositif de transmission et programme d'ordinateur correspondants.

1. Domaine de l'invention

Le domaine de l'invention est celui des communications radiofréquence pour lesquelles une modulation multiporteuse, notamment de type OFDM (« Orthogonal Frequency Division Multiplex » en anglais, pour « multiplexage par répartition orthogonale en fréquence »), est utilisée.

Plus précisément, la modulation OFDM est de plus en plus utilisée pour la transmission numérique, en particulier sur les canaux de transmission à trajets multiples. Cette technique de modulation multiporteuse permet notamment de s'affranchir de l'interférence entre symboles généralement observée lorsqu'on utilise une modulation monoporteuse sur un canal à trajets multiples. En outre, cette technique présente une très bonne efficacité spectrale et permet d'économiser des ressources spectrales radio par la mise en œuvre de réseaux mono-fréquence.

Du fait de sa robustesse intrinsèque aux canaux multi-trajets et aux canaux sélectifs en fréquence, la modulation OFDM est notamment, mais non exclusivement, utilisée dans les réseaux locaux sans-fil (WiFi), la radiotéléphonie mobile cellulaire 3GPP LTE (de l'anglais « 3rd Generation Partnership Project » et « Long Term Evolution »), ou encore l'ADSL (de l'anglais « Asymmetric Digital Subscriber Line »), mais aussi pour des standards tels que ceux relatifs à la diffusion Audio Numérique (DAB pour « Digital Audio Broadcasting » en anglais), la Télédiffusion Numérique, dont notamment DVB-T (de l'anglais « Digital Video Broadcasting - Terrestrial ») ou encore le nouveau standard DVB-T2.

2. Art antérieur

2.1 Inconvénients de la modulation OFDM

Un inconvénient majeur de la technique OFDM est inhérent aux fortes fluctuations en amplitude de l'enveloppe du signal modulé et donc aux variations importantes de la puissance instantanée.

En effet, dans le domaine temporel, la sommation de ces multiples porteuses modulées de façon indépendante s'effectue en puissance la majeure partie du temps, mais aussi de façon cohérente ce qui conduit à des pics de puissance instantanée qui peuvent dépasser de plus de 10 dB la puissance moyenne du signal à certains instants.

Le rapport puissance crête à puissance moyenne (PAPR, pour « Peak to Average Power Ratio » en anglais) des signaux émis, en d'autres termes le facteur qui caractérise le niveau de ces pics de puissance par rapport à la puissance moyenne du signal, est ainsi généralement très élevé et il augmente avec le nombre de porteuses N.

Les amplificateurs de puissance présentent des caractéristiques non-linéaires qui, couplées à l'amplification des signaux dits à fort PAPR conduisent à des distorsions : remontée spectrale du niveau des lobes secondaires, génération d'harmoniques, création d'interférences entre symboles non linéaires, création d'interférences entre porteuses. Ainsi, ces distorsions entraînent notamment des erreurs de transmission et une dégradation du taux d'erreur binaire (TEB).

2.2 Définition du PAPR

Plus précisément, on utilise, selon un mode de réalisation particulier, un signal OFDM de bande B constitué de la somme de N porteuses orthogonales modulées régulièrement espacées d'intervalle de fréquence Δf tel que : $B = N \cdot \Delta f$. Pour un bloc OFDM donné, chaque porteuse est modulée par un symbole X_n appartenant à une constellation (QPSK, MAQ16, etc.). La transformée de Fourier inverse du signal fréquentiel de bande B, fournit alors dans le domaine temporel le signal $x(t)$, qui sera transmis. Dans le domaine temporel, la durée d'un bloc OFDM est de $N.T = 1/\Delta f$, et a pour expression :

$$x(t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \cdot \sum_{n=0}^{N-1} X_n \cdot e^{j \cdot 2 \cdot \pi \cdot n \cdot \Delta f \cdot t}, 0 \leq t < N.T$$

En supposant que les variables X_n , sont aléatoires, statistiquement indépendantes et centrées, on en déduit le PAPR du signal OFDM qui s'exprime comme :

$$PAPR = \frac{\max_{0 \leq t < N.T} |x(t)|^2}{E[|x(t)|^2]}$$

On constate qu'avec cette définition du PAPR, et $x(t)$ étant l'IFFT de variables aléatoires discrètes, le PAPR peut devenir aussi grand que N dans le cas particulier mais aussi très rare où $\{X_k\}_{k=0}^{N-1} = 1$.

En pratique, les pics de PAPR d'une amplitude donnée surviennent suivant une certaine probabilité d'apparition. Il est notamment peu probable que l'amplitude du signal soit aussi grande que N, et ce d'autant plus que N sera grand. Aussi, de manière classique, pour caractériser le PAPR d'un système OFDM, on fait appel à la fonction de distribution cumulative complémentaire (CCDF) qui fournit la probabilité que l'amplitude du signal dépasse un certain seuil. Cette fonction est la plus utilisée pour caractériser les systèmes de réduction de PAPR et a pour expression :

$$\begin{aligned} CCDF_{PAPR} &= \Pr[PAPR(X_L) > \gamma, \quad L = 1] \\ &\approx 1 - (1 - e^{-\gamma})^N \end{aligned}$$

En pratique, cette équation indique par exemple que le signal ne pourra pas être correctement transmis sans saturation d'échantillon d'au moins un symbole sur cent avec un

signal comportant 2048 porteuses si les convertisseurs numérique analogique et/ou analogique numérique et les amplificateurs de puissance ne travaillent pas avec un écart de dynamique entre puissance moyenne et puissance crête d'au moins 12,2dB, ce qui représente pour l'amplificateur un rapport de puissance de fonctionnement de 1 à 16.

En dessous de cette marge le signal sera écrêté ou pour le moins fortement distordu avec des répercussions sur les conditions de transmission et de réception.

2.3 Art antérieur pour la réduction du PAPR

Dans la littérature, de nombreuses techniques ont déjà été proposées pour pallier ce problème.

Une solution courante consiste à s'assurer que la plage de fonctionnement de l'amplificateur reste limitée à une zone d'amplification linéaire, ce qui limite malheureusement le rendement de l'amplificateur (quelques % au lieu de, classiquement, 50 %) et donc une augmentation importante de la consommation de l'émetteur. Ceci est une contrainte très forte pour l'utilisation de l'OFDM notamment dans les terminaux mobiles, sachant que la consommation de l'amplificateur de puissance peut représenter plus de 50% de la consommation totale d'un terminal.

Une deuxième approche est l'application d'une contrainte ou codage sur la séquence de données émise pour limiter le PAPR. Cette méthode consiste à construire un jeu de mots de code qui minimise le PAPR. Plusieurs techniques de construction de ces codes ont été proposées. L'avantage de cette solution réside dans le fait qu'elle n'introduit pas de distorsion. En revanche, l'efficacité spectrale est pénalisée sans même pour autant apporter un gain de codage. De plus, à ce jour, son champ d'application est limité aux modulateurs OFDM à faibles nombres de porteuses N du fait d'une trop grande complexité de calcul.

Une troisième approche, appelée communément « technique TI-CES (de l'anglais « *Tone Injection – Constellation Extension Scheme* »), propose d'augmenter le nombre de points des constellations qui modulent les porteuses OFDM afin que pour un point de la constellation d'origine il puisse correspondre plusieurs possibilités de coordonnées dans la nouvelle constellation. Selon cette approche, ce degré de liberté supplémentaire est utilisé pour générer un signal de plus faible PAPR. Cependant, cette méthode présente plusieurs inconvénients du fait que l'extension de constellation va conduire à un accroissement de la puissance moyenne du signal puisque les symboles supplémentaires ont des niveaux de puissance supérieurs. En outre, la sélection de la meilleure possibilité de coordonnées pour chaque point requiert un accroissement de la complexité du calcul mis en œuvre, le rendant inadapté à une implémentation matérielle pour le traitement de signaux en temps réel.

Une quatrième approche, appelée communément « technique CD (de l'anglais «*Constellation Distortion*») » est également basée sur une modification de constellation et repose sur l'hypothèse selon laquelle le niveau de sortie de l'amplification d'émission est limité par les pics de plus fort PAPR et que si l'amplitude de ces pics peut être diminuée alors la puissance émise peut être augmentée. Selon cette technique, pour un taux de distorsion donné, un problème d'optimisation, dit convexe est résolu afin d'élaborer un signal OFDM avec un niveau de PAPR global minimal. Cependant, cette méthode nécessite d'augmenter de façon très significative la puissance moyenne de sortie pour compenser la perte en termes de rapport signal à bruit. En outre, la complexité de calcul mise en œuvre augmente de manière exponentielle lorsque l'ordre de constellation devient élevé.

Une cinquième technique, appelée communément « technique ACE (de l'anglais «*Active Constellation Extension*») » est également basée sur une modification de constellation et repose sur un déplacement effectué dans le sens d'un éloignement des axes de décision. Cependant, de la même manière que pour les deux méthodes précédentes, cette technique se caractérise par une efficacité moindre pour des constellations d'ordre élevé et par l'accroissement de la puissance moyenne du signal, et par une complexité de calcul très élevée.

Une sixième méthode, appelée communément « technique TR (de l'anglais «*Tone Reservation*») », propose de réserver certaines porteuses du multiplex OFDM, qui ne transportent pas d'informations mais des symboles optimisés à l'émission pour réduire le PAPR. L'optimisation de ces symboles peut être effectuée en utilisant par exemple un algorithme d'optimisation convexe de type SOCP (Second Order Cone Programming). Tout comme la méthode précédente, cette solution n'apporte pas de distorsion au signal émis, mais un inconvénient majeur de cette méthode réside dans le fait qu'un certain nombre de porteuses, doivent être réservées pour pouvoir réduire le PAPR de façon significative. Ces porteuses ne sont pas utilisées pour émettre des données d'informations utiles, ce qui conduit à une réduction de l'efficacité spectrale.

Une septième technique, appelée « Selected Mapping », consiste à appliquer une rotation de phase à chaque symbole de la séquence à transmettre. Plusieurs motifs de rotation de phase peuvent être définis. Pour chaque motif appliqué à la séquence à transmettre, on effectue les opérations pour obtenir un signal OFDM correspondant, et on transmet celui présentant le plus faible PAPR. De nouveau cette technique n'apporte pas de distorsion, mais elle nécessite de communiquer au récepteur la séquence de rotation utilisée à l'émission avec une très grande fiabilité, ce qui conduit à une réduction de l'efficacité spectrale et une augmentation significative de la complexité du système pour acheminer le motif de rotation

appliqué utilisé via un canal dédié. En outre, si cette transmission est erronée, toute la trame OFDM sera perdue. Elle augmente également la complexité à l'émission, puisque plusieurs traitements doivent être effectués en parallèle, pour choisir ensuite le plus efficace. Les autres traitements ont été effectués inutilement, et ne sont pas exploités.

Une dernière approche est la technique de « clipping », ou limiteur, qui consiste à écrêter l'amplitude du signal lorsqu'il dépasse un seuil prédéfini. Mais cet écrêtage est par nature non linéaire et introduit une distorsion du signal émis se traduisant non seulement par un TEB dégradé mais également par une remontée des lobes secondaires de la DSP (Densité Spectrale de Puissance).

Dans ce contexte particulier, les inventeurs ont donc identifié un besoin pour une nouvelle technique permettant d'améliorer la réduction du PAPR tout en restant simple à implémenter.

3. Exposé de l'invention

L'invention propose une solution nouvelle qui ne présente pas l'ensemble de ces inconvénients de l'art antérieur, sous la forme d'un procédé de transmission multiporteuse d'un signal OFDM représentatif d'un signal OFDM source comprenant des blocs OFDM constitués chacun d'un ensemble de N porteuses, chaque porteuse étant modulées par un symbole de constellation.

Selon l'invention, le procédé comprend dans le domaine fréquentiel avant la mise en œuvre d'une transformée de Fourier inverse rapide (IFFT), une première phase de pré-construction d'un ensemble de M échantillons temporels réels préconstruits représentatifs de l'ensemble des N porteuses modulées et multiplexées d'un bloc OFDM, M étant un entier, la première phase de pré-construction comprenant les étapes suivantes, répétées pour chaque porteuse d'indice n , n étant un entier tel que $0 \leq n \leq N-1$:

- construction d'un ensemble de M échantillons temporels complexes associés à la porteuse,
- construction d'un ensemble de M échantillons temporels réels préconstruits associés à la porteuse courante à partir de l'ensemble de M échantillons temporels complexes
- mémorisation des M échantillons temporels réels préconstruits associés à la porteuse, l'étape de mémorisation mettant en œuvre une accumulation associant deux à deux les M échantillons temporels réels préconstruits associés à la porteuse avec les M échantillons temporels réels préconstruits associés aux porteuses précédentes,

et en ce qu'il comprend en outre une deuxième phase de correction des symboles de constellation qui modulent les porteuses du bloc OFDM,

la deuxième phase de correction comprenant les étapes suivantes, répétées pour chaque porteuse :

- détection d'un pic de puissance maximale parmi l'ensemble des M échantillons temporels réels préconstruits représentatifs de l'ensemble des N porteuses d'un bloc OFDM, issu de la première phase de pré-construction ou parmi un ensemble actualisé de M échantillons temporels réels préconstruits représentatifs de l'ensemble des N porteuses d'un bloc OFDM issu d'une étape d'actualisation mise en œuvre pour une porteuse précédente, délivrant une information de contrôle de correction complexe,
- correction du symbole de constellation modulant la porteuse en fonction de l'information de contrôle de correction complexe, délivrant une donnée complexe de correction de la porteuse,
- construction d'un ensemble de M échantillons temporels réels préconstruits associés à la donnée de correction de la porteuse,
- actualisation de l'ensemble de M échantillons temporels réels préconstruits représentatifs de l'ensemble des N porteuses d'un bloc OFDM en tenant compte de la donnée complexe de correction, délivrant un ensemble actualisé de M échantillons temporels réels préconstruits représentatifs de l'ensemble des N porteuses d'un bloc OFDM, l'ensemble actualisé de M échantillons temporels réels préconstruits représentatifs de l'ensemble des N porteuses d'un bloc OFDM étant utilisé pour la porteuse suivante.

Ainsi, l'invention repose sur une approche nouvelle et inventive de la réduction de PAPR d'un signal OFDM.

Plus précisément, la présente invention permet d'améliorer les performances de réduction de PAPR avec une complexité de calcul faible au regard des techniques de l'art antérieur.

En outre, la présente invention présente une grande flexibilité de modification de constellation au regard des modifications de constellation imposées par les techniques TI-CES, CD, ACE et TR.

En effet, le procédé selon l'invention modifie successivement et de manière contrôlée les symboles de constellations modulant les porteuses d'un bloc OFDM dans le domaine fréquentiel avant la mise en œuvre d'une transformée de Fourier inverse rapide (IFFT).

Pour cela, l'invention utilise, pour la réduction du PAPR un asservissement temps réel de la correction d'une porteuse, dite porteuse courante, par rapport aux porteuses précédemment corrigées d'un même bloc OFDM.

Cet asservissement est notamment basé sur la mise en œuvre d'une détection d'un pic de PAPR parmi l'ensemble des M échantillons temporels réels préconstruits représentatifs de l'ensemble des N porteuses d'un bloc OFDM, issu d'une première phase de pré-construction ou parmi un ensemble actualisé de M échantillons temporels réels préconstruits représentatifs de l'ensemble des N porteuses d'un bloc OFDM issu d'une étape d'actualisation mise en œuvre pour une porteuse précédente.

Puis, en tenant compte de l'échantillon temporel complexe associé à la porteuse que l'on cherche à corriger correspondant au pic ainsi détecté, une information de contrôle de correction complexe est obtenue. Cette information de contrôle de correction complexe est ensuite utilisée pour définir la correction à apporter aux coordonnées du symbole de constellation modulant la porteuse courante que l'on cherche à corriger.

Ainsi, à l'issue des deux phases de pré-construction et de correction respectivement mentionnées ci-dessus mises en œuvre pour chacune des N porteuses, on réalise la « pré-construction » dans le domaine fréquentiel du signal temporel corrigé associé au bloc OFDM considéré.

Il est à noter que le terme « pré-construction » signifie que l'on détermine, alors même que l'on est dans le domaine fréquentiel, les M échantillons temporels de la réponse du signal qui « pourraient » être obtenus après IFFT. En effet, l'invention vise à corriger les coordonnées complexes du symbole de constellation modulant une porteuse courante dans le domaine fréquentiel.

Par « complexe », on entend « qui peut avoir une valeur réelle et/ou imaginaire telle que cette valeur est par exemple définie par $v=a+jb$ ».

Un tel procédé aboutit donc à une correction globale du signal temporel OFDM du fait que chaque porteuse d'un bloc OFDM est corrigée. Cette correction est optimisée du fait que le déplacement complexe de coordonnées de constellation est déterminé en fonction d'une information de contrôle de correction complexe.

Comme décrit par la suite, une telle dépendance entre le déplacement complexe de coordonnées de constellation et l'information de contrôle de correction complexe permet de construire une nouvelle constellation qui peut correspondre par exemple et de manière particulière à une constellation modifiée et/ou combinée des constellations issues des techniques de modification de constellation précédemment citées à savoir les techniques TI-CES, CD, ACE et TR.

Dans cette configuration un avantage de la technique proposée selon l'invention est donc de pouvoir regagner en efficacité en permettant d'associer plusieurs techniques de modification de constellation, dont les défauts respectifs distincts peuvent se compenser dans une certaine mesure grâce au contrôle de correction basé sur la mise en œuvre d'un asservissement temps réel entre une porteuse courante à corriger et les porteuses qui la précèdent dans le temps et qui ont été précédemment corrigées.

Selon un mode de réalisation particulier de l'invention, le procédé de transmission comprend en outre une étape de commutation permettant de transférer ledit ensemble des M échantillons temporels réels préconstruits représentatifs de l'ensemble des N porteuses d'un bloc OFDM issus de ladite première phase de pré-construction en entrée de ladite étape de détection de ladite deuxième phase de correction.

Selon un mode de réalisation de l'invention, le procédé de transmission comprend en outre pour un bloc OFDM, une étape préalable d'initialisation à zéro d'une entité de mémorisation destinée à être utilisée pour l'étape de mémorisation dudit ensemble des M échantillons temporels réels préconstruits représentatifs de l'ensemble des N porteuses d'un bloc OFDM issus de ladite première phase de pré-construction, mise en œuvre pour chacune des N porteuses du bloc OFDM.

Ainsi, pour $n=0$, on considère par exemple que l'ensemble précédemment mémorisé de M échantillons temporels complexes précédemment non corrigés par défaut ont une valeur nulle.

Selon un aspect particulier de l'invention, l'étape de détection délivrant une information de contrôle de correction complexe est mise en œuvre par rapport à l'étape de pré-construction avec un retard correspondant à un cycle d'horloge de durée prédéterminée.

La mise en œuvre de ce retard selon un cycle d'horloge prédéterminé permet notamment de synchroniser l'obtention de l'information de contrôle de correction complexe afin qu'elle soit délivrée juste au moment où intervient l'étape de correction du symbole de constellation modulant la porteuse courante à corriger.

De façon préférentielle, l'information de contrôle de correction complexe est obtenue par comparaison du pic détecté avec l'échantillon temporel complexes correspondant de l'ensemble de M échantillons temporels complexes associés à la porteuse courante d'indice n, l'information de contrôle de correction complexe appartenant à au moins une des catégories suivantes :

- information de contrôle de correction complexe dont la partie réelle, respectivement imaginaire, est positive lorsque le signe du pic et de la partie réelle, respectivement imaginaire, de l'échantillon temporel complexe correspondant sont identiques,

- information de contrôle de correction complexe dont la partie réelle, respectivement imaginaire, est négative lorsque le signe du pic et de la partie réelle, respectivement imaginaire, de l'échantillon temporel complexe correspondant sont opposés,
- information de contrôle de correction complexe dont la partie réelle, respectivement imaginaire, est nulle lorsque l'amplitude de puissance de l'échantillon temporel du pic détecté correspondant est inférieure à un seuil prédéterminé, ou lorsque ladite porteuse courante d'indice n est dite « réservée » et ne doit pas être corrigée.

Ainsi, l'information de contrôle de correction complexe permet de contrôler la réduction du pic de PAPR en tenant compte de la corrélation de signe entre le pic des échantillons temporels réels préconstruits représentatifs des porteuses précédemment corrigées et accumulées et l'échantillon temporel complexe de la porteuse courante à corriger en coïncidence avec le pic détecté.

Il est donc possible de contrôler la correction mise en œuvre d'une porteuse à l'autre de façon optimisée, en tenant compte de la corrélation entre une porteuse courante à corriger et l'accumulation des porteuses précédemment corrigées, ou en tenant compte de l'identification de porteuses dites « réservées » dont le symbole de constellation doit rester constant. Il est donc possible selon un aspect particulier de l'invention, qu'aucune correction ne soit apportée à des porteuses « réservées » prédéterminées ou préalablement identifiées.

Avantageusement, l'étape de correction met en œuvre une sommation des coordonnées du symbole de constellation avec des coordonnées représentatives d'un déplacement complexe du symbole de constellation sur les axes des abscisses et des ordonnées du plan complexe de la constellation de ce symbole, le déplacement complexe étant sélectionné au moyen de l'information de contrôle de correction complexe, parmi les déplacements complexes appartenant à au moins une des catégories suivantes :

- déplacement réel, respectivement imaginaire, du déplacement complexe, négatif lorsque l'information de contrôle de correction complexe comporte une partie réelle, respectivement imaginaire, positive;
- déplacement réel, respectivement imaginaire, du déplacement complexe positif lorsque l'information de contrôle de correction complexe comporte une partie réelle, respectivement imaginaire, négative;
- déplacement réel, respectivement imaginaire, du déplacement complexe nul lorsque l'information de contrôle de correction complexe comporte une partie réelle, respectivement imaginaire, nulle.

Par « déplacement réel du déplacement complexe » on entend le déplacement selon l'axe des réels de la partie réelle du déplacement complexe. Par « déplacement imaginaire du

déplacement complexe » on entend le déplacement selon l'axe des imaginaires de la partie imaginaire du déplacement complexe. En effet, les déplacements de la partie réelle et de la partie imaginaire du symbole de constellation sont indépendants l'un de l'autre. Par exemple la partie réelle du symbole de constellation peut être déplacé positivement au regard de l'axe des réels. Tandis que la partie imaginaire peut être déplacée négativement au regard de l'axe des imaginaires.

Ainsi, l'invention propose un contrôle du déplacement complexe de chaque symbole de constellation modulant une porteuse sur les axes des abscisses et des ordonnées du plan complexe de la constellation de ce symbole. On obtient donc un déplacement complexe contrôlé des symboles de constellation qui peut être distinct d'un symbole de constellation modulant une porteuse à un autre symbole de constellation modulant une autre porteuse.

En d'autres termes, il est par exemple possible que les composantes réelles et/ou imaginaire du symbole de constellation modulant une porteuse d'indice $n+g$, avec g entier tel que $0 \leq n+g \leq N-1$ soient corrigées selon un déplacement complexe positif tandis que les composantes réelles et/ou imaginaire du symbole de constellation modulant la porteuse d'indice n sont corrigées selon un déplacement complexe négatif.

La nature du déplacement complexe étant contrôlée, les déplacements complexes mis en œuvre peuvent conduire à conserver les points de constellation dans leur secteur de décision ou dans la constellation d'origine ou bien à les déplacer en dehors.

En outre, les déplacements complexes nuls conduisent à conserver les points de la constellation d'origine, en d'autres termes sans correction.

Selon un aspect particulier de l'invention, la valeur absolue de la partie réelle, respectivement imaginaire, du déplacement complexe est fixe d'une porteuse à l'autre du bloc OFDM et cette valeur absolue correspond à une valeur prédéterminée. Par exemple, cette valeur de déplacement complexe est égale à 0,25 ou 0,5 fois la distance du point de constellation à la frontière du secteur de décision.

La constance de la valeur absolue du déplacement complexe permet notamment de limiter la complexité de mise en œuvre de l'invention.

Selon un mode de réalisation particulier, le procédé de transmission met en œuvre successivement au moins les sous-étapes suivantes :

- application d'une transformée de Fourier inverse rapide sur les composantes réelle et imaginaire du symbole de constellation, centrées sur une fréquence égale à $F_c/2$,
- transposition des composantes réelle et imaginaire en bande de base,
- suréchantillonnage à une fréquence égale à $2.F_c$ des composantes réelle et imaginaire en bande de base,

- filtrage passe-bas des composantes réelle et imaginaire,
- modulation des composantes à une fréquence porteuse à $F_c/2$.

Plus particulièrement, le procédé selon l'invention met en œuvre l'équation suivante :

$$S(l, \frac{T_e}{2}) = \sum_{n=0}^{N-1} \left[A_n \cos(\pi \cdot l \cdot \frac{n}{N}) - B_n \sin(\pi \cdot l \cdot \frac{n}{N}) \right]$$

avec :

- A_n et B_n les composantes réelle et imaginaire du symbole de constellation modulant la porteuse courante d'indice n ,
- S l'ensemble des échantillons temporels réels préconstruits relatifs à un bloc OFDM,
- $T_e = \frac{1}{F_c}$,
- et $0 \leq l \leq M = 2 \cdot N$.

L'invention concerne également un dispositif de transmission multiporteuse d'un signal OFDM représentatif d'un signal OFDM source comprenant des blocs OFDM constitués chacun d'un ensemble de N porteuses, chaque porteuse étant modulées par un symbole de constellation.

Selon l'invention, le dispositif de transmission comprend, dans le domaine fréquentiel avant la mise en œuvre d'une transformée de Fourier inverse rapide (IFFT), un module de pré-construction d'un ensemble de M échantillons temporels réels préconstruits représentatifs de l'ensemble des N porteuses modulées et multiplexées d'un bloc OFDM, M étant un entier, le module de pré-construction comprenant les entités suivantes mises en œuvre pour chaque porteuse d'indice n , n étant un entier tel que $0 \leq n \leq N-1$:

- une entité de construction, d'un ensemble de M échantillons temporels complexes associés à la porteuse,
- une entité de construction d'un ensemble de M échantillons temporels réels préconstruits associés à la porteuse à partir dudit ensemble de M échantillons temporels complexes,
- une entité de construction d'un ensemble de M échantillons temporels réels préconstruits associés à la porteuse à partir de l'ensemble de M échantillons temporels complexes
- une entité de mémorisation des M échantillons temporels réels associés à la porteuse, l'entité de mémorisation mettant en œuvre une accumulation associant deux à deux les M échantillons temporels réels préconstruits associés à la porteuse avec les M échantillons temporels réels préconstruits associés aux porteuses précédentes,

et en ce qu'il comprend en outre un module de correction des symboles de constellation qui

modulent les porteuses du bloc OFDM,

le module de correction comprenant les entités suivantes mises en œuvre pour chaque porteuse :

- une entité de détection d'un pic de puissance maximale parmi l'ensemble des M échantillons temporels réels préconstruits représentatifs de l'ensemble des N porteuses d'un bloc OFDM, issu du premier module de pré-construction ou parmi un ensemble actualisé de M échantillons temporels réels préconstruits représentatifs de l'ensemble des N porteuses d'un bloc OFDM issu d'une entité d'actualisation mise en œuvre pour une porteuse précédente, délivrant une information de contrôle de correction complexe,
- une entité de correction du symbole de constellation modulant la porteuse en fonction de l'information de contrôle de correction complexe, délivrant une donnée de correction complexe de la porteuse,
- une entité de construction d'un ensemble de M échantillons temporels réels préconstruits associés à la donnée de correction de la porteuse,
- une entité d'actualisation de l'ensemble de M échantillons temporels réels préconstruits représentatifs de l'ensemble des N porteuses d'un bloc OFDM en tenant compte de la donnée complexe de correction, délivrant un ensemble actualisé de M échantillons temporels réels préconstruits représentatifs de l'ensemble des N porteuses d'un bloc OFDM, l'ensemble actualisé de M échantillons temporels réels préconstruits représentatifs de l'ensemble des N porteuses d'un bloc OFDM étant utilisé pour la porteuse suivante.

Selon un mode de réalisation particulier, le dispositif selon l'invention comprend en outre un commutateur permettant de transférer l'ensemble des M échantillons temporels réels préconstruits représentatifs de l'ensemble des N porteuses d'un bloc OFDM issus du premier module de pré-construction en entrée de l'entité de détection du deuxième module de correction.

Un tel dispositif de transmission est notamment apte à mettre en œuvre le procédé de transmission selon l'invention tel que décrit précédemment.

L'invention concerne également un programme d'ordinateur comportant des instructions pour la mise en œuvre d'un procédé de transmission décrit ci-dessus lorsque ce programme est exécuté par un processeur.

4. Liste des figures

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description suivante d'un mode de réalisation particulier, donné à titre de simple exemple illustratif et non limitatif, et des dessins annexés, parmi lesquels :

- les figures 1A et 1B représentent respectivement le schéma de traitement d'un signal OFDM et un schéma synoptique simplifié du système de réduction du PAPR selon l'invention ;
- la figure 2 illustre les principales étapes d'un procédé de transmission selon l'invention ;
- la figure 3 illustre un schéma synoptique détaillé du système de réduction du PAPR selon l'invention ;
- les figures 4A et 4B illustrent les différentes sous-étapes de calcul mises en œuvre par le procédé selon l'invention ;
- les figures 5A à 5C illustrent différents exemples de constellations corrigées obtenues selon l'invention ;
- la figure 6 illustre la structure d'un dispositif de transmission selon l'invention.

5. Description d'un mode de réalisation de l'invention

5.1 Principe général

L'invention repose donc sur l'utilisation d'un contrôle de correction de la constellation modulant un signal OFDM de façon à réduire de façon optimale le rapport puissance crête à puissance moyenne, ou PAPR.

Plus précisément, l'invention met en œuvre une première phase de pré-construction d'un signal numérique réel représentatif d'un bloc OFDM du signal obtenu sans correction en sortie du dispositif de transmission.

Une fois la pré-construction du signal numérique représentatif d'un bloc OFDM effectuée, le procédé selon l'invention met en œuvre une deuxième phase de correction qui détecte notamment des pics de PAPR au sein de l'ensemble d'échantillons temporels réels préconstruit représentatif des N porteuses du bloc OFDM précédemment préconstruit.

Les pics détectés correspondent ainsi aux pics de plus fort niveau pour l'ensemble du bloc OFDM qui « serait » obtenu sans correction en sortie du dispositif de transmission.

En présence de ces pics, le procédé selon l'invention délivre une information de contrôle de correction complexe permettant d'optimiser la modification de la constellation associée aux porteuses du signal OFDM afin de réduire ces pics.

En particulier, l'information de contrôle est obtenue en tenant compte à la fois de la porteuse courante à corriger et des porteuses précédemment corrigées. L'invention permet donc d'adapter porteuse par porteuse la constellation du signal à émettre.

De nouvelles constellations de modulation de signal permettant une réduction du PAPR sont donc obtenues selon l'invention.

On décrit ci-après en relation avec la figure 1, le schéma général de traitement d'un signal OFDM visant à réduire le PAPR. Un signal OFDM est, selon le mode de réalisation tel que décrit par le schéma général en relation avec la figure 1, traité selon une succession d'étapes : à l'émission 1000 :

- génération 101 de données source ;
- codage et entrelacement 102 desdites données délivrant des données entrelacées ;
- modulation desdites données entrelacées 103 par exemple selon une modulation QAM ;
- insertion 104 de porteuses pilotes ;
- correction 105 des symboles OFDM visant à réduire le PAPR selon le procédé de l'invention ;
- modulation OFDM 106 mettant notamment en œuvre une transformée de Fourier rapide inverse (IFFT de l'anglais « Inverse Fast Fourier Transform ») délivrant des symboles OFDM ;
- transmission 107 dudit signal OFDM sur un canal de transmission 108 en présence de bruit par exemple un bruit blanc gaussien 109 ;

et à la réception 1010 :

- réception 110 d'un signal dit reçu ;
- démodulation 111 OFDM dudit signal reçu mettant en œuvre une transformée de Fourier rapide (FFT pour « Fast Fourier Transform » en anglais) délivrant un signal reçu transformé ;
- estimation de canal 112 ;
- démodulation 113 dudit signal reçu transformé délivrant un signal démodulé ;
- désentrelacement et décodage 114 dudit signal démodulé ;
- détermination du taux d'erreur binaire (de l'anglais « bit error rate »).

L'invention propose donc une technique de correction 105 spécifique qui permet de réduire efficacement le PAPR tout en étant simple d'implémentation. En outre, la correction selon l'invention est mise en œuvre uniquement à la transmission et ne nécessite pas de modifications des récepteurs existants.

Le procédé de réduction de PAPR 105 selon l'invention est présenté selon le synoptique simplifié de la figure 1B. Plus précisément, les étapes essentielles du procédé de transmission selon l'invention sont mises en œuvre dans le domaine fréquentiel entre les étapes classiques d'insertion 104 de porteuses pilotes et de modulation OFDM 106 mettant notamment en œuvre une transformée de Fourier rapide inverse.

Plus précisément, selon la figure 1B, le procédé selon l'invention correspond à un système d'asservissement de type rétroactif (de l'anglais « Feed-Back ») imbriqué avec un asservissement de type actif de type « Feed-Forward ».

Ce procédé est non-itératif, en d'autres termes une correction portant sur un bloc de N porteuses (N correspondant également à la taille de la transformée de Fourier rapide et de la transformée de Fourier inverse rapide) est entièrement calculée en une durée de N échantillons à la fréquence F_e .

Comme détaillé par la suite en relation avec la figure 2, le fonctionnement du procédé consiste dans une première phase à pré-construire grâce à un module de pré-construction et de mémorisation 1055 comprenant une entité de mémorisation M1 représenté sur la figure 1B, avant transformée de Fourier inverse rapide (IFFT), le signal temporel réel qui pourrait être obtenu en sortie du dispositif de transmission à partir de la suite des différentes porteuses d'un bloc m de signal OFDM qui sont modulées par des symboles de constellation.

Pour chaque porteuse modulée par un symbole X_n , sont calculés simultanément tous les échantillons de sa réponse temporelle qui pourraient être obtenus après transformée de Fourier inverse rapide, si cette porteuse était transformée dans le domaine temporel isolément.

Puis, les différentes réponses temporelles de chaque porteuses sont accumulées dans le module de pré-construction et de mémorisation 1055 qui délivre en sortie un vecteur signal $S_{N-1}[]$ constitué de l'ensemble des échantillons calculés parallèlement pour les N porteuses du bloc OFDM sans qu'aucune correction ne soit mise en œuvre. Ainsi, le module de pré-construction et de mémorisation 1055 délivre une « image » du signal temporel réel qui serait obtenu pour le bloc OFDM considéré.

Puis, le vecteur $S_{N-1}[]$ obtenu sur la durée du bloc OFDM considéré, est transféré par exemple à un module de correction et d'actualisation 1051 dotée d'une entité de mémorisation M2 pour être ensuite utilisé par un module de détection 1052.

Le module de correction et d'actualisation 1051 est de ce fait initialisé avec le vecteur $S_{N-1}[]$ grâce à la commutation d'un commutateur SW2 permettant de relier l'entité de mémorisation M1 du module de pré-construction et de mémorisation 1055 à l'entité de mémorisation M2 du module de correction et d'actualisation 1051.

L'entité de mémorisation M1 du module de pré-construction et d'accumulation 1055 est de ce fait réinitialisée à zéro et la pré-construction du signal temporel correspondant au bloc OFDM suivant $m+1$ débute.

Dans le module de correction et d'actualisation 1051, la suite des symboles de constellation du bloc OFDM d'indice m ont transité dans une ligne à retard 1056 de durée N , ce qui entraîne que le premier symbole X_0 ressort lorsque l'entité de mémorisation M2 vient d'être initialisée par connexion avec l'entité de mémorisation M1. Le commutateur SW2 reliant les entités de mémorisation M1 et M2 est alors déconnecté et reste dans cet état toute la durée du bloc OFDM d'indice m (comme représenté sur la figure 1B).

Dans le module de correction et d'actualisation 1051, pour la porteuse d'indice $n=0$, la détection de l'apparition d'un pic de puissance sur un échantillon particulier de l'ensemble des échantillons temporels réels du vecteur $S_{N-1}[\]$ est tout d'abord mise en œuvre ce qui en rapport avec les échantillons temporels complexes de la porteuse permet d'en déduire une information de contrôle de correction complexe POL_n correspondant à une information représentative de la polarité du pic détecté relativement aux composantes en cosinus et sinus de la porteuse.

Du fait que l'ensemble des échantillons temporels réels associés au bloc OFDM d'indice m ont été préalablement construits, la détection de pic est directement pertinente car le pic détecté est bien représentatif du pic de PAPR du bloc OFDM d'indice m qui serait émis sans correction.

L'information de contrôle de correction complexe va permettre ensuite de contrôler une correction de constellation telle qu'illustrée par la suite selon les exemples des figures 5A à 5C.

L'information de contrôle de correction complexe POL_n , calculée pour la première porteuse d'indice $n=0$ du bloc OFDM d'indice m à partir du vecteur $S_{N-1}[\]$, comporte un cycle d'horloge de retard, représenté par une barre verticale noire 1054, par rapport au symbole X_0 car une prise en compte enregistrée à une fréquence F_e est effectuée en sortie du module de correction et d'actualisation 1051. Ainsi, à chaque front de cette horloge, une nouvelle entrée, à savoir un symbole de constellation X_n , est chargée et/ou une nouvelle sortie est actualisée, à savoir un symbole de constellation corrigé X'_n , les valeurs correspondantes sont alors maintenues durant un cycle d'horloge.

En fonction de l'information de contrôle de correction complexe POL_n , un module de correction 1053 applique une correction de constellation modifiant les coordonnées du symbole de constellation X_0 en lui imposant un déplacement complexe d_0 .

Un tel déplacement complexe d_0 est pris en compte pour actualiser ensuite le vecteur $S_{N-1}[\]$ ce qui a pour effet à la prochaine phase de correction mise en œuvre pour la porteuse d'indice $n=1$ de réduire l'amplitude du pic détecté pour le bloc OFDM d'indice m par rapport à ce qu'elle aurait pu être sans correction.

Cette actualisation produira donc une nouvelle valeur du vecteur $S'_{N-1}[\]$, de la suite des échantillons temporels complexes préconstruits en parallèle, avec une contrainte de régression sur l'échantillon de plus fort niveau.

Ainsi, dès la première porteuse d'indice $n=0$ du bloc OFDM m , les pics de PAPR de plus forts niveaux vont être réduits.

Le procédé selon l'invention est reproduit ensuite à chaque nouveau symbole de constellation, associé à chaque porteuse, en d'autres termes pour toutes les $n-1$ porteuses suivantes, tant que l'amplitude du pic détecté n'est pas revenue à un niveau comparable ou inférieur aux autres niveaux crêtes du signal. La phase de correction selon l'invention se termine à la fin du bloc OFDM courant une fois que l'ensemble des porteuses qui le constitue ont été parcourue et corrigées si nécessaire.

Le module de correction et d'actualisation 1051 est alors réinitialisé à zéro pour traiter le vecteur $S_{N-1}[\]$ associé au bloc OFDM $m+1$ suivant et transmis par le module de pré-construction et de mémorisation 1055.

De ce fait la correction des pics de PAPR d'un bloc OFDM d'indice m est améliorée porteuse par porteuse sur toute la durée N de ce bloc OFDM.

Tout au long du bloc OFDM d'indice m , en d'autres termes au fur et à mesure que l'on parcourt les N porteuses du bloc OFDM d'indice m , le procédé selon l'invention va donc déterminer une suite de déplacements complexes d_n de correction qui seront à la fois combinés aux symboles de constellation d'origine X_n pour former une suite de symbole $X'n$ conduisant à un plus faible PAPR après modulation OFDM 106 mettant notamment en œuvre une transformée de Fourier rapide inverse, et pris en compte dans l'actualisation du vecteur $S_{N-1}[\]$ effectuée pour chaque porteuse.

5.2 Description détaillée et implémentation des différentes étapes du procédé de transmission selon l'invention

La figure 2 représente en détail l'ensemble des étapes mises en œuvre selon l'invention afin d'élaborer une correction de la constellation qui module chaque porteuse d'un bloc OFDM et ceci en vue de réduire le PAPR du signal transmis tandis que la figure 3 représente l'implémentation physique de ces étapes.

Ces deux aspects sont détaillés ci-après.

5.2.1 Description des différentes étapes du procédé selon l'invention

Ainsi, comme illustré par la figure 2, le procédé de transmission 20 selon l'invention permettant d'appliquer une correction de la constellation de modulation en vue de réduire le PAPR du signal transmis comprend, dans le domaine fréquentiel avant la mise en œuvre d'une transformée de Fourier inverse Rapide (IFFT), une première phase (201) de construction d'un ensemble de M échantillons temporels réels préconstruits représentatifs de l'ensemble des N porteuses modulées et multiplexées d'un bloc OFDM d'indice m, M étant un entier.

En effet, la réduction de PAPR doit s'appliquer au signal temporel qui « serait » émis sans correction en sortie du dispositif de transmission OFDM.

Plus précisément, la première phase (201) de pré-construction effectuée, pour chaque porteuse modulée par un symbole de constellation, un traitement équivalent à celui comprenant successivement au moins les sous-étapes représentées en relation avec les figures 4A et 4B.

A partir de la suite des symboles de constellation qui modulent les porteuses, chaque symbole de constellation X_n étant défini par un couple de valeurs 400 (A_n , B_n) qui définissent les coordonnées du symbole de constellation X_n dans le plan complexe tel que $X_n = A_n + j.B_n$, le procédé selon l'invention préconstruit un signal réel numérique représentatif du signal analogique radiofréquence qui sera obtenu en sortie du dispositif de transmission.

Pour ce faire, selon le procédé selon l'invention, on considère tout d'abord la mise en œuvre d'une transformée de Fourier inverse rapide (IFFT) (41) sur les composantes réelle (A_n) et imaginaire (B_n) du symbole de constellation X_n .

On obtient alors la représentation 410 du signal sur la figure 4B et l'expression suivante en sortie de l'IFFT à $t = k.T_e$, avec $0 \leq k < K = N$ et $k.T_e = T$, la durée du bloc OFDM considéré :

$$x(k.T_e) = \sum_{n=0}^{N-1} X_n \cdot e^{2.j.\pi.\frac{n}{T}.k.T_e}$$

Puis, une transposition (42) des composantes réelles et imaginaire en bande de base est effectuée et représentée 420 sur la figure 4B conformément à l'équation :

$$y(k.T_e) = \sum_{n=0}^{N-1} \cos(k.\pi).X_n \cdot e^{2.j.\pi.\frac{n}{N}.k}$$

Ensuite, un sur-échantillonnage (43) à une fréquence égale à $2.F_e$ des composantes réelle et imaginaire en bande de base est mis en œuvre conformément à l'équation suivante :

$$y(l.\frac{T_e}{2}) = \sum_{n=0}^{N-1} \cos(l.\frac{\pi}{2}).X_n \cdot e^{2.j.\pi.\frac{n}{N}.l}$$

avec $t = l \cdot T_e/2$ et $0 \leq l < 2 \cdot N$ ce qui comporte l'insertion de zéro un échantillon sur deux tel que représenté (430) sur la figure 4B.

On procède ensuite à un filtrage (44) passe-bas des composantes réelle et imaginaire pour ne conserver que le signal en bande de base (440) selon l'équation :

$$z(l \cdot \frac{T_e}{2}) = \frac{1}{2} \cdot \sum_{n=0}^{N-1} X_n \cdot e^{j \cdot \pi \cdot l \cdot (\frac{n}{N} - \frac{1}{2})}$$

Puis, une modulation (45) des composantes à une fréquence porteuse égale à $F_e/2$ est mise en œuvre telle que représentée (450) par la figure 4B et conformément à l'équation suivante :

$$p(l \cdot \frac{T_e}{2}) \cdot z(l \cdot \frac{T_e}{2}) = \frac{1}{2} \cdot \sum_{n=0}^{N-1} X_n \cdot e^{j \cdot \pi \cdot l \cdot (\frac{n}{N} - \frac{1}{2} + \frac{1}{2})} = \frac{1}{2} \cdot x(l \cdot \frac{T_e}{2})$$

Il est à noter que les premières et dernières porteuses d'un bloc OFDM ne sont pas modulées dans le but d'obtenir une représentation plus explicite telle que celle de la figure 4B.

Le signal $z(l \cdot \frac{T_e}{2})$ modulé à une fréquence porteuse égale à $F_e/2$ est donc égal au signal de sortie d'une transformée de Fourier inverse rapide sur-échantillonné à la fréquence égale à $2 \cdot F_e$ et est représenté (460) sur la figure 4B.

On obtient finalement l'expression $S(l \cdot \frac{T_e}{2})$ à un facteur près :

$$S(l \cdot \frac{T_e}{2}) = \text{Re} \left[x(l \cdot \frac{T_e}{2}) \right] = \sum_{n=0}^{N-1} \left[A_n \cos(\pi \cdot l \cdot \frac{n}{N}) - B_n \sin(\pi \cdot l \cdot \frac{n}{N}) \right] \text{ avec } 0 \leq l \leq 2 \cdot N$$

Cette équation est par la suite appelée « équation résultante » et représente le signal temporel qui « serait » émis sans correction en sortie du dispositif de transmission OFDM, pour un bloc OFDM considéré.

Cette expression présente des propriétés de symétries temporelles (symétrie hermitienne) illustrées par l'expression suivante avec $0 \leq p \leq N$:

$$\left[A_n \cos \left(\pi \cdot n \cdot \frac{2 \cdot N - p}{N} \right) - B_n \sin \left(\pi \cdot n \cdot \frac{2 \cdot N - p}{N} \right) \right] = \left[A_n \cos \left(\pi \cdot p \cdot \frac{n}{N} \right) + B_n \sin \left(\pi \cdot p \cdot \frac{n}{N} \right) \right]$$

De ce fait, la suite des $2 \cdot N$ échantillons des composantes en cosinus des N porteuses est paire, tandis que la suite des $2 \cdot N$ échantillons des composantes en sinus des N porteuses est impaire.

En outre, l'expression de $S(l \cdot \frac{T_e}{2})$ présente également des propriétés de symétrie fréquentielles illustrées par l'expression suivante avec $0 \leq q \leq N/2$:

$$\left[A_n \cos \left(\pi \cdot l \cdot \frac{N - q}{N} \right) - B_n \sin \left(\pi \cdot l \cdot \frac{N - q}{N} \right) \right] = \cos(\pi \cdot l) \cdot \left[A_n \cos \left(\pi \cdot l \cdot \frac{q}{N} \right) + B_n \sin \left(\pi \cdot l \cdot \frac{q}{N} \right) \right]$$

ce qui entraîne que les composantes de la deuxième demi-suite pour $\frac{N}{2} \leq N - q \leq N$ des N porteuses peut être déduite de la première (pour $0 \leq q \leq N/2$) en effectuant la même

opération que pour tirer profit des symétries temporelles et en inversant un échantillon sur deux.

Ainsi, le signal résultant $S(l, \frac{T_e}{2})$ sans correction selon l'équation « résultante précédemment mentionnée, est obtenu à l'issue de la phase de pré-construction (201) et est utilisée par la suite comme référence dans la phase de correction (202). Ainsi, l'objet de la phase de pré-construction (201) est d'obtenir un signal numérique réel représentatif du point de vue dynamique et valeurs de crêtes, du signal analogique en sortie du dispositif de transmission, en d'autres termes une « image » du signal analogique en sortie du dispositif de transmission.

Ainsi, comme illustré par la figure 2, la phase de pré-construction (201) comprend, pour une porteuse courante d'indice n modulée par un symbole de constellation X_n , n étant un entier tel que $0 \leq n \leq N-1$, une première étape de construction (2011) d'un ensemble de M échantillons temporels complexes associés à ladite porteuse courante d'indice n , M étant un entier.

Puis, la phase de pré-construction (201) comprend une deuxième étape de construction (2012) d'un ensemble de M échantillons temporels réels préconstruits associés à la porteuse à partir de l'ensemble de M échantillons temporels complexes issu de la première étape de construction (2011).

Ainsi, pour chaque porteuse courante d'indice n , les étapes de constructions ci-dessus décrites délivrent un ensemble de $M=2N$ échantillons temporels réels associés à la porteuse courante d'indice n , M étant un entier.

Puis, la première phase (201) de pré-construction du procédé de transmission 20 selon l'invention comprend une étape de mémorisation 2013 et d'accumulation associant deux à deux les M échantillons temporels réels associés à la porteuse courante d'indice n avec l'ensemble précédemment mémorisé de M échantillons temporels réels associés aux n porteuses précédentes.

Une fois que l'ensemble des N porteuses ont été traitées selon ces deux étapes de construction (2011 et 2012) et de mémorisation (2013), on obtient donc à l'issue de la première phase de pré-construction (201) un vecteur signal $S_{N-1}[]$ constitué de l'ensemble des échantillons réels calculés parallèlement pour les N porteuses du bloc OFDM sans qu'aucune correction ne soit mise en œuvre.

Puis le procédé de transmission 20 selon l'invention comprend une deuxième phase de correction (202) de ce vecteur signal $S_{N-1}[]$ transféré par activation d'un commutateur SW2 permettant de relier le module de pré-construction et le module de correction mettant

respectivement en œuvre la première phase de pré-construction et la deuxième phase de correction.

Puis une fois ce transfert (matérialisé sur la figure 2 par une ligne en pointillé) effectué, la deuxième phase de correction devient indépendante de la première phase de pré-construction par ouverture du même commutateur SW2.

La deuxième phase de correction (202) permet de corriger au fur et à mesure le vecteur signal $S_{N-1}[]$ sans correction issu de la première phase de pré-construction (201). Plus précisément, une correction est effectuée au fur et à mesure porteuse par porteuse, par de petits déplacements complexes (dA_n , dB_n) de chaque valeurs d'origine des composantes réelle et imaginaire (A_n , B_n) d'un symbole de constellation modulant une porteuse afin d'obtenir un signal préconstruit et corrigé dont le PAPR est réduit.

Ainsi, la deuxième phase de correction (202) met en œuvre pour la porteuse modulée d'indice $n=0$ par un symbole de constellation X_0 , une étape de détection (2021) d'un pic de puissance maximale parmi les échantillons temporels réels du vecteur signal $S_{N-1}[]$, délivrant une information de contrôle de correction complexe (POL_n) tenant compte de l'ensemble de M échantillons temporels complexes en sinus et cosinus associés à la porteuse courante d'indice 0.

Parmi les échantillons temporels réels du vecteur signal $S_{N-1}[]$, on détecte par exemple un pic correspondant au quatrième échantillon temporel réel.

Puis, on compare (20210) le signe (positif ou négatif) de ce quatrième échantillon temporel réel de l'ensemble des échantillons temporels réels du vecteur signal $S_{N-1}[]$ avec le quatrième échantillon temporel complexe de l'ensemble des échantillons temporels complexes associés à la porteuse d'indice 0 ce qui délivre une information de contrôle de correction complexe POL_n appartenant à au moins une des catégories suivantes :

- information de contrôle de correction complexe de partie réelle, respectivement imaginaire, positive lorsque le signe du pic et de la partie réelle, respectivement imaginaire, de l'échantillon temporel complexe correspondant sont identiques,
- information de contrôle de correction complexe de partie réelle, respectivement imaginaire, négative lorsque le signe du pic et de la partie réelle, respectivement imaginaire, de l'échantillon temporel complexe correspondant sont opposés,
- information de contrôle de correction complexe de partie réelle, respectivement imaginaire, nulle lorsque l'amplitude de puissance de l'échantillon temporel du pic détecté est inférieure à un seuil prédéterminé, ou lorsque ladite porteuse courante d'indice n est dite « réservée » et ne doit pas être corrigée.

En effet, il est possible que certaines porteuses telles que les porteuses pilotes ne soient pas corrigées afin de conserver intact le symbole de constellation auquel elles sont associées.

Dans le cas où $n \geq 1$, par exemple $n=5$, l'étape de détection (22) est effectuée parmi les échantillons temporels réels du vecteur signal actualisé $S'_{N-1}[\]$ prenant en compte par accumulation les corrections associées aux cinq porteuses précédentes, à savoir les porteuses d'indice 0, 1, 2, 3 et 4.

Puis, la deuxième phase de correction (202) du procédé de transmission 20 selon l'invention comprend, pour une porteuse courante d'indice n modulée par un symbole de constellation X_n , n étant un entier tel que $0 \leq n \leq N-1$, une deuxième étape de correction 2022 du symbole de constellation X_n modulant la porteuse courante d'indice n en fonction de l'information de contrôle de correction complexe, délivrant une donnée de correction de la porteuse courante.

Plus précisément, l'information de contrôle de correction complexe permet de sélectionner une donnée de correction de la porteuse courante, par exemple un déplacement complexe (dA_n , dB_n) du symbole de constellation sur les axes des abscisses et des ordonnées du plan complexe de la constellation du symbole parmi trois possibilités de déplacement pour chaque partie réelle ou imaginaire du déplacement complexe. En effet, le déplacement complexe impose un déplacement réel (respectivement imaginaire) négatif (NEG) lorsque l'information de contrôle de correction complexe comporte une partie réelle (respectivement imaginaire) positive, le déplacement complexe impose un déplacement réel (respectivement imaginaire) positif (POS) lorsque l'information de contrôle de correction comporte une partie réelle (respectivement imaginaire) négative, le déplacement impose un déplacement réel (respectivement imaginaire nul (ZERO) lorsque l'information de contrôle de correction comporte une partie réelle (respectivement imaginaire) nulle (ce qui revient à une absence de correction).

Le déplacement complexe de correction est donc effectué dans le sens inverse de la formation des pics de PAPR.

Une fois ce déplacement complexe sélectionné en fonction de l'information de contrôle de correction complexe, une sommation des coordonnées (A_n , B_n) du symbole de constellation X_n avec les coordonnées (dA_n , dB_n) du déplacement complexe sélectionné est effectuée et délivre les nouvelles coordonnées (A'_n , B'_n) du symbole de constellation corrigé X'_n correspondant.

En outre, selon une particularité de l'invention, et dans le but de limiter la complexité d'implémentation, la valeur absolue de la partie réelle, respectivement imaginaire, dudit déplacement complexe est fixe d'une porteuse à l'autre dudit bloc OFDM et en ce que ladite

valeur absolue correspond à une valeur prédéterminée, par exemple 0,25 et 0,5 fois la distance entre le point de constellation et la frontière du secteur de décision.

Puis, la deuxième phase de correction (202) du procédé de transmission 20 selon l'invention comprend, pour une porteuse courante d'indice n modulée par un symbole de constellation X_n , n étant un entier tel que $0 \leq n \leq N-1$, une troisième étape de construction (2023) d'un ensemble de M échantillons temporels réels préconstruits associés à la donnée de correction de la porteuse, en d'autre terme le déplacement complexe précédemment défini.

Puis, la deuxième phase de correction (202) du procédé de transmission 20 selon l'invention comprend, pour une porteuse courante d'indice n modulée par un symbole de constellation X_n , n étant un entier tel que $0 \leq n \leq N-1$, une quatrième étape d'actualisation 2024 du vecteur signal $S_{N-1}[\]$ en associant deux à deux les M échantillons temporels réels du vecteur signal $S_{N-1}[\]$ avec l'ensemble de M échantillons temporels réels préconstruits (issus de l'étape de construction 2023 ci-dessus) représentatifs du déplacement complexe d_n de correction effectuée délivrant un vecteur signal $S'_{N-1}[\]$ utilisé pour la porteuse suivante.

5.2.2 Implémentation physique des différentes étapes du procédé selon l'invention

Conformément au schéma de la figure 3, l'implémentation du procédé selon l'invention comprend neuf modules de traitement, de 301 à 309 tel que décrit par la suite.

Par rapport à une chaîne conventionnelle qui génère un signal $S(t)$ à partir de la suite des valeurs (A_n, B_n) des coordonnées dans le plan complexe qui définissent un symbole de constellation X_n ($X_n = A_n + j.B_n$) étant transformées par IFFT, le procédé selon l'invention génère à l'issue de la deuxième phase de correction (202), des valeurs corrigées (A'_n, B'_n) porteuse par porteuse qui donneront après IFFT et modulation un signal $S'(t)$ corrigé dans lequel les pics de PAPR qui affectent $S(t)$ ont été atténués.

Pour ce faire, au cours de la première phase de pré-construction décrite précédemment, le procédé selon l'invention préconstruit d'abord progressivement par accumulation et simultanément l'ensemble des échantillons du signal $S(l.T_e/2)$ sur la durée d'un bloc OFDM ainsi que défini conformément à l'équation « résultante » précédemment mentionnée.

Plus précisément, l'entité de génération d'échantillons temporels réels 308 reçoit en entrée l'ensemble des symboles de constellation X_n d'un bloc OFDM d'indice m de N porteuses et calcule simultanément la suite des $2.N$ échantillons de la réponse temporelle réelle qui serait obtenue après IFFT, conformément à l'équation ci-dessus au moyen d'une entité 302 de génération d'un signal multiporteuse. L'entité 302 de génération d'un signal multiporteuse délivre donc à chaque symbole de constellation X_n , la suite des $2.N$ échantillons

temporels complexes en cosinus et sinus de la porteuse qui lui correspond dans le bloc OFDM de taille N.

A chaque coup d'horloge tous les échantillons du signal $S(l.T_e/2)$ sont ainsi préconstruits progressivement en accumulant dans l'entité de mémorisation 307 les résultats de calcul courants suivant l'équation mentionnée ci-dessus, avec les différents résultats des pré-construction précédemment effectuées.

Par exemple, si les échantillons en cosinus et en sinus de la porteuse d'indice n, constituent les éléments des vecteurs $COS_n[]$ et $SIN_n[]$, définis de la façon suivante :

$$COS_n[] = \begin{bmatrix} \cos\left(\pi \cdot \frac{n}{N}\right) \\ \cos\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{n}{N}\right) \\ \text{---} \text{---} \text{---} \\ \cos\left((2 \cdot N - 2) \cdot \pi \cdot \frac{n}{N}\right) \\ \cos\left((2 \cdot N - 1) \cdot \pi \cdot \frac{n}{N}\right) \end{bmatrix} \quad SIN_n[] = \begin{bmatrix} \sin\left(\pi \cdot \frac{n}{N}\right) \\ \sin\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{n}{N}\right) \\ \text{---} \text{---} \text{---} \\ \sin\left((2 \cdot N - 2) \cdot \pi \cdot \frac{n}{N}\right) \\ \sin\left((2 \cdot N - 1) \cdot \pi \cdot \frac{n}{N}\right) \end{bmatrix}$$

on obtient donc un vecteur signal en sortie de l'entité de mémorisation 307 qui, à l'indice n, a pour expression :

$$S_n[] \leq S_{n-1}[] + A_{n-1} \cdot COS_{n-1}[] - B_{n-1} \cdot SIN_{n-1}[] \quad 0 < n < N$$

et avec $S_0[] = 0$

L'entité de mémorisation 307 étant enregistré, l'opérateur « $\leq$ » de l'équation ci-dessus signifie que le terme de gauche sera conforme au terme de droite un cycle d'horloge plus tard.

A chaque coup d'horloge, matérialisant la cadence de traitement d'une porteuse à une autre, conformément à l'équation « résultante », précédemment mentionnée, 2.N résultats sont chargés dans l'entité de mémorisation 307. En parallèle, les échantillons complexes des composantes en cosinus et sinus fournies par l'entité 302 de génération d'un signal multiporteuse, qui étaient précédemment à l'indice n-1, sont remplacés par ceux associés à la porteuse d'indice n.

A la fin du bloc OFDM d'indice m constitué de N porteuses, quand $n=N-1$, l'ensemble des échantillons temporels réels préconstruits de $S(l.T_e/2)$ sur la durée d'un symbole OFDM, à l'exception d'une dernière valeur qui est négligée, sont contenus dans le vecteur $S_{N-1}[]$ en sortie de l'entité de mémorisation 307 et un signal V de validation est activé pendant un cycle d'horloge.

L'activation de ce signal V a alors pour effet de transférer les 2.N échantillons temporels de l'entité de mémorisation 307 dans l'entité d'actualisation 305.

L'entité d'actualisation 305 se trouve donc réinitialisée à cet instant, par la fermeture d'un commutateur SW2 commandé par le signal V afin de relier la sortie de l'entité de mémorisation 307 à l'entrée de l'entité d'actualisation 305 et simultanément par l'ouverture d'un commutateur SW1 commandé par le signal complémentaire W de manière à effacer le processus d'accumulation dans l'entité d'actualisation 305 précédent en interrompant le retour de l'entité d'actualisation 305 sur son entrée.

Puis, les commutateurs SW1 et SW2 sont rebasculés pour le restant du bloc OFDM en position respectivement fermée et ouverte, et l'entité d'actualisation 305 travaille ensuite en mode « accumulation seul » à partir des échantillons temporels réels fournis par l'entité de génération 306 qui détermine un ensemble de M échantillons temporels réels préconstruits représentatifs du déplacement complexe (dA_n , dB_n) effectué pour chaque symbole de constellation.

L'entité de mémorisation 307 est alors intégralement remise à zéro par un signal R synchrone du signal V de chargement. Les calculs de pré-construction et les mémorisations réalisés respectivement dans les entités de pré-construction et de mémorisation redémarrent alors sur un bloc OFDM d'indice $m+1$.

Parallèlement, la suite des symboles de constellation X_n du bloc d'indice m ont transité dans une ligne retard 309 de durée N. Ainsi, le premier symbole X_0 du bloc d'indice m ressort lorsque l'entité d'actualisation 305 vient d'être réinitialisée par l'entité de mémorisation 307.

A partir de ce premier symbole X_0 du bloc OFDM d'indice m , l'entité de correction 301 reçoit ensuite, successivement et au rythme de l'horloge, les valeurs de constellation d'origine décomposées selon deux composantes A_n et B_n d'un symbole de constellation X_n modulant une porteuse d'indice n , et restitue trois possibilités de déplacement (POS, ZERO, NEG) pour chacune des deux composantes réelle et imaginaire qui auront pour effet de modifier la constellation du symbole X_n courant.

Le procédé selon l'invention permet donc de sélectionner un couple de solution de déplacement complexe (dA_n, dB_n) pour corriger un symbole de constellation X_n , avec trois possibilités pour chacun des déplacements réel (imaginaire) en sortie de l'entité de correction 301, et par addition avec les composantes A_n et B_n d'origine, un nouveau couple (A'_n , B'_n) est obtenu. Ce nouveau couple, appliqué en entrée de l'IFFT et après modulation 106 en relation avec la figure 1A, va permettre de générer un signal $S'(t)$ qui présentera un niveau de PAPR réduit.

Considérant, que le vecteur $S_{N-1}[\]$ comprenant l'ensemble des réponses temporelles des porteuses modulées par les symboles de constellation d'origine a déjà été transféré dans l'entité d'actualisation 305 à son initialisation, et l'opération étant linéaire, il est alors

uniquement nécessaire de calculer au moyen de l'entité de génération 306 un ensemble de M échantillons temporels réels préconstruits représentatifs du déplacement complexe (dA_n, dB_n) effectué pour chaque symbole de constellation, et d'actualiser le vecteur $S_{N-1}[]$ devenant $S'_{N-1}[]$ au moyen de l'entité d'actualisation 305 avec les échantillons temporels réels associés aux porteuses « modulées » uniquement par les déplacements complexes de correction (dA_n, dB_n).

L'entité de génération de signal multiporteuse 302 délivre donc à chaque symbole de constellation X_n , la suite des $2.N$ échantillons temporels complexes en cosinus et sinus de la porteuse qui lui correspond dans le bloc OFDM de taille N pour pouvoir réaliser les calculs dans l'entité de génération d'échantillons temporels réels 306.

Ces $2.N$ échantillons temporels complexes en cosinus et sinus sont délivrés par l'entité de génération d'un signal multiporteuse 302 de façon identique et synchrone pour les entités de générations d'échantillons temporels réels 306 et 308, car le délai entre les opérations faisant intervenir les mêmes composantes correspond à la période de un bloc OFDM exactement du fait de la ligne de retard 309.

Puis à chaque coup d'horloge tous les échantillons du signal $S'(l.T_e/2)$ sont corrigés et actualisés progressivement en partant de la réponse selon le vecteur $S_{N-1}[]$ chargée à l'initialisation dans l'entité d'actualisation, en accumulant dans l'entité d'actualisation 305, les échantillons temporels réels associés aux valeurs de déplacement complexe (dA_n, dB_n) de correction des porteuses courantes décomposées en cosinus et sinus.

A chaque coup d'horloge, un résultat de l'équation « résultante » précédemment mentionnée, est donc actualisé et accumulé dans l'entité d'actualisation 305 et les échantillons des composantes en cosinus et sinus fournies par l'entité de génération de signal multiporteuse 302, qui étaient précédemment à l'indice $n-1$, commutent alors sur ceux de la porteuse suivante qui sera modulée par le nouveau couple de déplacement complexe (dA_n, dB_n).

On obtient donc un vecteur signal en sortie de l'entité d'actualisation 305 qui, à l'indice n , a pour expression :

$$S'_n[] \leq S'_{N-1}[] + dA_{n-1} \cdot \cos_{n-1}[] - dB_{n-1} \cdot \sin_{n-1}[] \quad 0 < n < N \text{ et}$$

avec $S'_0[] = S_{N-1}[]$

Ainsi, on obtient à l'indice n une valeur intermédiaire $S'_n[]$ du vecteur des $2.N$ échantillons temporels réels parallèles préconstruits représentatifs de $S'(l.T_e/2)$ en sortie de l'entité d'actualisation 305 enregistrée, lorsque la suite des symboles de constellation est parvenue au symbole de constellation X_n d'indice n , $S'_n[]$ étant par la suite utilisé pour corriger la porteuse d'indice n .

Pour une porteuse d'indice n , à partir de la sortie de l'entité d'actualisation 305, une entité de détection 304 permet ensuite de détecter l'éventuelle apparition d'un pic de signal en recherchant l'échantillon d'amplitude maximal parmi l'ensemble des $2.N$ échantillons réels du vecteur $S'_n[l]$ précédemment actualisé par correction de la porteuse d'indice $n-1$. Cet échantillon est donc déterminé par $PEAK_n = \max_{0 \leq l < 2.N} (S'_n(l))$.

L'entité de détection 304 fournit alors l'information relative à la position du pic détecté à une entité de comparaison 303 qui va déterminer si les échantillons en cosinus et sinus de la porteuse à l'indice n , dont les coordonnées dans la constellation de modulation seront respectivement A'_n et B'_n et en coïncidence avec le pic détecté, sont de même polarité que celui ci. Suivant cette différence de polarité $POL_n = POL_{An} + j.POL_{Bn}$ c'est la solution de symbole de constellation corrigé dans le sens de la diminution du pic, qui est choisie pour A'_n et B'_n . Ainsi, si POL_{n+1} est défini par :

$$POL_n = \left[Sgn(COS_n(l_{peak})) - j.Sgn(SIN_n(l_{peak})) \right] . Sgn(PEAK_n)$$

lorsque la polarité entre l'échantillon de la composante en cosinus (- sinus) et le pic détecté est identique alors POL_{An} (POL_{Bn}) est positif et une correction par déplacement complexe dAn (dBn) négatif est choisie, inversement si la polarité est opposée, alors POL_{An} (POL_{Bn}) est négatif et une correction par déplacement complexe dAn (dBn) positif est sélectionnée pour obtenir A'_n et B'_n .

Dans le cas où l'amplitude de l'échantillon de la composante en cosinus ou sinus, en coïncidence avec le pic détecté, est trop faible par rapport à un certain seuil P_{seuil} et donc n'apportera pas de réduction du pic de manière significative alors la position Zero, c'est-à-dire sans correction, est appliquée.

Si la correction ne peut être suffisamment efficace il devient préférable de n'apporter aucune modification à la constellation plutôt que de détériorer le TEB en ICS, ou d'augmenter la puissance moyenne en OCS, inutilement. En TR par contre, ce seuil n'est pas nécessaire puisque la sous-porteuse PRT n'apportera pas de perturbation du signal utile quelque soit l'efficacité de correction qui sera obtenue.

L'entité de détection 304 fournit donc l'emplacement de l'échantillon qui présente un pic de niveau ainsi que son signe, et le tableau ci-dessous résume pour la composante A_n (B_n) le sens de déplacement complexe qui sera apporté en fonction du signe de $COS_n(l_{peak})$, respectivement $(-SIN_n(l_{peak}))$, pour une valeur P_{seuil} comprise en pratique entre 0,15 et 0,3.

$COS_n(l_{peak})$ $(-SIN_n(l_{peak}))$	Valeur Signe	Pic Détecté	Valeur Signe	Sens de Déplacement complexe dAn (dBn)
> Pseuil	+1	1	+1	négatif
	+1	1	-1	positif
-Pseuil < < Pseuil	--	1	+1	Zero
	--	1	-1	Zero
< -Pseuil	-1	1	+1	Positif
	-1	1	-1	Négatif
Absence de niveau crête	--	0	--	Zero

Si l'on cherche à déplacer les symboles de constellation en restant à l'intérieur de la constellation d'origine, un déplacement complexe dAn (dBn) positif pour An (Bn) se traduit par un déplacement complexe vers la droite (le haut) du point de constellation sur le plan complexe et inversement vers la gauche (le bas) pour un déplacement complexe négatif.

Au contraire, si l'on cherche à déplacer les symboles de constellation vers l'extérieur de la constellation d'origine tel que dans la technique TI - CES, un point est déplacé vers un point opposé de la constellation étendue seulement si le signe de la composante An (Bn) est contraire à celui du sens de déplacement complexe dAn (dBn), positif ou négatif, choisi en fonction de la polarité POLAn (POLBn) ; autrement il n'y a pas de modification du point.

5.3 Description d'exemples de nouvelles constellations obtenues selon l'invention.

Comme pour les techniques TI-CES, CD, ACE et TR de l'art antérieur, le procédé selon l'invention aboutit à une modification de la constellation de modulation des porteuses dans le domaine fréquentiel avant IFFT, pour obtenir ensuite dans le domaine temporel un signal à PAPR réduit.

L'avantage du procédé selon l'invention est la flexibilité de correction de constellation. Effet, tout type de correction peut être appliqué selon l'invention, du moment que celle-ci peut se traduire par un déplacement complexe contrôlé des composantes réelle et/ou imaginaire du symbole de constellation associé à une porteuse.

Ainsi, les déplacements complexes de sens positif ou négatif sur l'axe des abscisses et l'axe des ordonnées du plan complexe, peuvent conduire à conserver les points de constellation dans leur secteur de décision ou dans la constellation d'origine ou bien à les déplacer en dehors.

En relation avec la figure 5A, le procédé selon l'invention permet d'appliquer à la fois des déplacements complexes à l'intérieur (51) ainsi qu'à l'extérieur (52) de la constellation d'origine.

De ce fait, la mise en œuvre du procédé selon l'invention délivre deux nouvelles classes plus générales de correction de constellation:

- la classe 51 ICS (de l'anglais « Inside Constellation Shift ») pour laquelle, lorsque la modification appliquée reste modérée, les points de constellation déplacés restent inscrits dans la constellation d'origine, cette classe incluant notamment en partie la technique CD de l'art antérieur précédemment décrite, et
- la classe 52 OCS (de l'anglais Outside Constellation Shift) pour laquelle les points sont déplacés à l'extérieur de la constellation d'origine, cette classe incluant les techniques TI-CES et ACE de l'art antérieur précédemment décrites.

Au regard de la technique TR (de l'art antérieur précédemment décrite), il n'y a pas de notion de constellation, la constellation des porteuses pilote de réduction de pics (PRT) étant défini uniquement dans le but de réduire le PAPR, ce qui peut être également contrôlé par le procédé selon l'invention.

La correction de constellation mise en œuvre selon l'invention peut donc se substituer à n'importe laquelle des corrections de constellation des techniques de réduction de PAPR de l'art antérieur précédemment décrites, en y adoptant, pour chacune d'entre elles prise séparément, l'ensemble des avantages ou non.

Un avantage du système proposé est alors de pouvoir regagner en efficacité en permettant d'associer plusieurs techniques, dont les défauts respectifs distincts peuvent dans une certaine mesure se compenser.

La figure 5B représente à titre d'exemple l'ensemble des déplacements complexes autorisés pour des constellations QPSK (53), MAQ16 (54), MAQ64 (55) résultants d'une combinaison originale de corrections de constellation dites ICS (petites flèches vers l'intérieur) pour lesquelles les points de constellation déplacés restent inscrits dans la constellation d'origine modifiée et de corrections de constellation dites OCS (grande flèches vers l'extérieur) pour lesquels les points sont déplacés à l'extérieur de la constellation d'origine.

De la même manière sont représentées à la figure 5C, deux constellations MAQ16 (56) et MAQ64 (57) comportant à la fois des déplacements complexes ICS ou OCS. Pour les points conventionnels concernés par le déplacement complexe à l'extérieur de la constellation

d'origine, deux solutions de corrections opposées par rapport à l'un des axes réel ou imaginaire sont possibles, le point blanc d'origine et un point noir « étendu » à l'extérieur.

Le nombre, ainsi que les positions des nouveaux points noirs « étendus » sont déterminés de manière à ce que l'augmentation de puissance moyenne de constellation reste limitée (constellation inscrite au mieux dans un cercle) avec néanmoins une proportion de points déplacés à l'extérieur de la constellation d'origine par rapport aux points déplacés vers l'intérieur de la constellation d'origine suffisante de manière à conserver une bonne capacité de correction dans chaque cas MAQ16 (56) et 64 (57).

Ainsi, le procédé selon l'invention permet d'obtenir deux nouveaux types de constellation dite « ICS » ou « OCS » selon que les points de constellations sont déplacés respectivement vers l'intérieur ou l'extérieur de la constellation d'origine, qui combinent les avantages des différentes techniques de l'art antérieur.

5.4 Description du dispositif de transmission selon l'invention

On présente finalement, en relation avec la figure 6, la structure simplifiée d'un dispositif de transmission multiporteuse d'un signal OFDM représentatif d'un signal OFDM source comprenant des blocs OFDM constitués chacun d'un ensemble de N porteuses mettant en œuvre une technique de transmission selon un exemple décrit ci-dessus.

Un tel dispositif de transmission comprend un module de mémorisation 60 comprenant une mémoire tampon M , une unité de traitement 61, équipée par exemple d'un microprocesseur μP , et pilotée par le programme d'ordinateur 62, mettant en œuvre le procédé de transmission selon l'invention.

A l'initialisation, les instructions de code du programme d'ordinateur 62 sont par exemple chargées dans une mémoire RAM avant d'être exécutées par le processeur de l'unité de traitement 61. L'unité de traitement 61 reçoit en entrée un signal multiporteuse $S(t)$. Le microprocesseur de l'unité de traitement 61 met en œuvre les étapes du procédé de transmission décrit précédemment, selon les instructions du programme d'ordinateur 62, pour effectuer une correction de la constellation de modulation visant à réduire le PAPR du signal $S(t)$. Pour cela, le dispositif de transmission comprend, outre la mémoire tampon M premier module de pré-construction comprenant les entités suivantes mises en œuvre pour chaque porteuse d'indice n , n étant un entier tel que $0 \leq n \leq N-1$: une entité de construction, d'un ensemble de M échantillons temporels complexes associés à la porteuse, une entité de construction d'un ensemble de M échantillons temporels réels préconstruits associés à la porteuse courante à partir de l'ensemble précédent de M échantillons temporels complexes une entité de mémorisation des M échantillons temporels réels associés à la porteuse, l'entité

de mémorisation mettant en œuvre une accumulation associant deux à deux lesdits M échantillons temporels réels associés à la porteuse avec les M échantillons temporels réels associés aux porteuses précédentes, et un deuxième module de correction des symboles de constellation qui modulent les porteuses du bloc OFDM, comprenant les entités suivantes mises en œuvre pour chaque porteuse : une entité de détection d'un pic de puissance maximale parmi l'ensemble des M échantillons temporels réels préconstruits représentatifs de l'ensemble des N porteuses d'un bloc OFDM, issu de la première phase de pré-construction ou parmi un ensemble actualisé de M échantillons temporels réels préconstruits représentatifs de l'ensemble des N porteuses d'un bloc OFDM issu d'une entité d'actualisation mise en œuvre pour une porteuse précédente, délivrant une information de contrôle de correction complexe, une entité de correction du symbole de constellation modulant la porteuse en fonction de la information de contrôle de correction complexe, délivrant une donnée de correction de la porteuse, une entité de construction d'un ensemble de M échantillons temporels réels préconstruits associés à la donnée de correction de la porteuse, une entité d'actualisation de l'ensemble de M échantillons temporels réels préconstruits représentatifs de l'ensemble des N porteuses d'un bloc OFDM en tenant compte de l'ensemble de M échantillons temporels réels préconstruits associés à la donnée de correction, délivrant un ensemble actualisé de M échantillons temporels réels préconstruits représentatifs de l'ensemble des N porteuses d'un bloc OFDM, ledit ensemble actualisé de M échantillons temporels réels préconstruits représentatifs de l'ensemble des N porteuses d'un bloc OFDM étant utilisé pour la porteuse suivante.

Ces moyens sont pilotés par le microprocesseur de l'unité de traitement 61.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de transission multiporteuse (20) d'un signal OFDM représentatif d'un signal OFDM source comprenant des blocs OFDM constitués chacun d'un ensemble de N porteuses, chaque porteuse étant modulées par un symbole de constellation, caractérisé en ce qu'il comprend, dans le domaine fréquentiel avant la mise en œuvre d'une transformée de Fourier inverse rapide (IFFT), une première phase (201) de pré-construction d'un ensemble de M échantillons temporels réels préconstruits représentatifs de l'ensemble des N porteuses modulées et multiplexées d'un bloc OFDM, M étant un entier, ladite première phase de pré-construction comprenant les étapes suivantes, répétées pour chaque porteuse d'indice n, n étant un entier tel que $0 \leq n \leq N-1$:

- construction (2011) d'un ensemble de M échantillons temporels complexes associés à ladite porteuse,
- construction (2012) d'un ensemble de M échantillons temporels réels préconstruits associés à la porteuse à partir dudit ensemble de M échantillons temporels complexes,
- mémorisation (2013) desdits M échantillons temporels réels associés à ladite porteuse, ladite étape de mémorisation mettant en œuvre une accumulation associant deux à deux lesdits M échantillons temporels réels associés à ladite porteuse avec les M échantillons temporels réels associés aux porteuses précédentes,

et en ce qu'il comprend en outre une deuxième phase (202) de correction des symboles de constellation qui modulent les porteuses dudit bloc OFDM,

ladite deuxième phase de correction comprenant les étapes suivantes, répétées pour chaque porteuse :

- détection (2021) d'un pic de puissance maximale parmi ledit ensemble des M échantillons temporels réels préconstruits représentatifs de l'ensemble des N porteuses d'un bloc OFDM, issu de ladite première phase de pré-construction ou parmi un ensemble actualisé de M échantillons temporels réels préconstruits représentatifs de l'ensemble des N porteuses d'un bloc OFDM issu d'une étape d'actualisation mise en œuvre pour une porteuse précédente, délivrant une information de contrôle de correction complexe,
- correction (2022) du symbole de constellation modulant ladite porteuse en fonction de ladite information de contrôle de correction complexe, délivrant une donnée de

correction (dA_n , dB_n) de ladite porteuse,

- construction (2023) d'un ensemble de M échantillons temporels réels préconstruits associés à la donnée de correction de la porteuse,
- actualisation (2024) de l'ensemble de M échantillons temporels réels préconstruits représentatifs de l'ensemble des N porteuses d'un bloc OFDM en tenant compte de ladite donnée de correction, délivrant un ensemble actualisé de M échantillons temporels réels préconstruits représentatifs de l'ensemble des N porteuses d'un bloc OFDM, ledit ensemble actualisé de M échantillons temporels réels préconstruits représentatifs de l'ensemble des N porteuses d'un bloc OFDM étant utilisé pour la porteuse suivante.

2. Procédé de transmission selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend en outre une étape de commutation permettant de transférer ledit ensemble des M échantillons temporels réels préconstruits représentatifs de l'ensemble des N porteuses d'un bloc OFDM issus de ladite première phase de pré-construction en entrée de ladite étape de détection de ladite deuxième phase de correction.

3. Procédé de transmission selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend, pour un bloc OFDM, une étape préalable d'initialisation à zéro d'une entité de mémorisation destinée à être utilisée pour ladite étape de mémorisation dudit ensemble des M échantillons temporels réels préconstruits représentatifs de l'ensemble des N porteuses d'un bloc OFDM issus de ladite première phase de pré-construction, mise en œuvre pour chacune des N porteuses dudit bloc OFDM.

4. Procédé de transmission selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite étape de détection (2021) délivrant une information de contrôle de correction complexe (POL_n) est mise en œuvre par rapport à ladite phase de pré-construction avec un retard (1054) correspondant à un cycle d'horloge de durée prédéterminée.

5. Procédé de transmission selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite information de contrôle de correction complexe est obtenue par comparaison (20210) dudit pic détecté avec l'échantillon temporel complexe correspondant dudit ensemble de M échantillons temporels complexes associés à ladite porteuse courante d'indice n , ladite information de contrôle de correction complexe appartenant à au moins une des catégories suivantes :

- information de contrôle de correction complexe de partie réelle, respectivement imaginaire, positive lorsque le signe du pic et de la partie réelle, respectivement imaginaire, de l'échantillon temporel complexe correspondant sont identiques,

- information de contrôle de correction complexe de partie réelle, respectivement imaginaire, négative lorsque le signe du pic et de la partie réelle, respectivement imaginaire, de l'échantillon temporel complexe correspondant sont opposés,
- information de contrôle de correction complexe de partie réelle (respectivement imaginaire) nulle lorsque l'amplitude de puissance de l'échantillon temporel du pic détecté est inférieure à un seuil prédéterminé, ou lorsque ladite porteuse courante d'indice n est dite « réservée » et ne doit pas être corrigée.

6. Procédé de transmission selon la revendication 5, caractérisé en ce que ladite étape de correction (2022) met en œuvre une sommation des coordonnées dudit symbole de constellation avec des coordonnées représentatives d'un déplacement complexe (dA_n , dB_n) dudit symbole de constellation sur les axes des abscisses et des ordonnées du plan complexe de la constellation dudit symbole, ledit déplacement complexe étant sélectionné au moyen de ladite information de contrôle de correction complexe, parmi les déplacements complexes appartenant à au moins une des catégories suivantes :

- déplacement réel, respectivement imaginaire, du déplacement complexe, négatif lorsque l'information de contrôle de correction complexe comporte une partie réelle (respectivement imaginaire) positive;
- déplacement réel, respectivement imaginaire, du déplacement complexe positif lorsque l'information de contrôle de correction complexe comporte une partie réelle, respectivement imaginaire, négative;
- déplacement réel, respectivement imaginaire, du déplacement complexe nul lorsque l'information de contrôle de correction complexe comporte une partie réelle, respectivement imaginaire, nulle.

7. Procédé de transmission selon la revendication 6, caractérisé en ce que la valeur absolue de la partie réelle, respectivement imaginaire, dudit déplacement complexe est fixe d'une porteuse à l'autre dudit bloc OFDM et en ce que ladite valeur absolue correspond à une valeur prédéterminée.

8. Procédé de transmission selon la revendication 1, caractérisé en ce que ledit procédé de transmission met en œuvre successivement au moins les sous-étapes suivantes:

- application (41) d'une transformée de Fourier inverse rapide sur les composantes réelle et imaginaire dudit symbole de constellation, centrées sur une fréquence égale à $F_c/2$,
- transposition (42) desdites composantes réelle et imaginaire en bande de base,
- sur-échantillonnage (43) à une fréquence égale à $2.F_c$ desdites composantes réelle et imaginaire en bande de base,
- filtrage (44) passe-bas desdites composantes réelle et imaginaire,

- modulation (45) desdites composantes à une fréquence porteuse à $F_c/2$.

9. Procédé de transmission selon la revendication 8, caractérisé en ce ledit procédé de transmission met en œuvre l'équation suivante :

$$S(l, \frac{Te}{2}) = \sum_{n=0}^{N-1} \left[A_n \cos(\pi \cdot l \cdot \frac{n}{N}) - B_n \sin(\pi \cdot l \cdot \frac{n}{N}) \right]$$

avec :

- A_n et B_n les composantes réelle et imaginaire dudit symbole de constellation modulant ladite porteuse courante d'indice n ,
- S l'ensemble des échantillons temporels réels préconstruits relatifs à un bloc OFDM,
- $Te = \frac{1}{F_c}$,
- et $0 \leq l \leq M = 2 \cdot N$.

10. Dispositif de transmission multiporteuse d'un signal OFDM représentatif d'un signal OFDM source comprenant des blocs OFDM constitués chacun d'un ensemble de N porteuses, chaque porteuse étant modulées par un symbole de constellation, caractérisé en ce qu'il comprend, dans le domaine fréquentiel avant la mise en œuvre d'une transformée de Fourier inverse rapide (IFFT), un module de pré-construction d'un ensemble de M échantillons temporels réels préconstruits représentatifs de l'ensemble des N porteuses modulées et multiplexées d'un bloc OFDM, M étant un entier, ledit module de pré-construction comprenant les entités suivantes mises en œuvre pour chaque porteuse d'indice n , n étant un entier tel que $0 \leq n \leq N-1$:

- une entité de construction (302), d'un ensemble de M échantillons temporels complexes associés à ladite porteuse,
- une entité de construction (308) d'un ensemble de M échantillons temporels réels préconstruits associés à la porteuse à partir dudit ensemble de M échantillons temporels complexes,
- une entité de mémorisation (307) desdits M échantillons temporels réels associés à ladite porteuse, ladite entité de mémorisation mettant en œuvre une accumulation associant deux à deux lesdits M échantillons temporels réels associés à ladite porteuse avec les M échantillons temporels réels associés aux porteuses précédentes,

et en ce qu'il comprend en outre un module de correction des symboles de constellation qui modulent les porteuses dudit bloc OFDM,

ledit module de correction comprenant les entités suivantes mises en œuvre pour chaque porteuse :

- une entité de détection (304) d'un pic de puissance maximale parmi ledit ensemble des M échantillons temporels réels préconstruits représentatifs de l'ensemble des N porteuses d'un bloc OFDM, issu du premier module de pré-construction ou parmi un ensemble actualisé de M échantillons temporels réels préconstruits représentatifs de l'ensemble des N porteuses d'un bloc OFDM issu d'une entité d'actualisation mise en œuvre pour une porteuse précédente, délivrant une information de contrôle de correction complexe,
- une entité de correction (301) du symbole de constellation modulant ladite porteuse en fonction de ladite information de contrôle de correction complexe, délivrant une donnée de correction (dA_n , dB_n) de ladite porteuse,
- une entité de construction (306) d'un ensemble de M échantillons temporels réels préconstruits associés à la donnée de correction de la porteuse,
- une entité d'actualisation (305) de l'ensemble de M échantillons temporels réels préconstruits représentatifs de l'ensemble des N porteuses d'un bloc OFDM en tenant compte de ladite donnée correction (dA_n , dB_n), délivrant un ensemble actualisé de M échantillons temporels réels préconstruits représentatifs de l'ensemble des N porteuses d'un bloc OFDM, ledit ensemble actualisé de M échantillons temporels réels préconstruits représentatifs de l'ensemble des N porteuses d'un bloc OFDM étant utilisé pour la porteuse suivante.

11. Dispositif de transmission selon la revendication 10, caractérisé en ce qu'il comprend en outre un commutateur (SW2) permettant de transférer ledit ensemble des M échantillons temporels réels préconstruits représentatifs de l'ensemble des N porteuses d'un bloc OFDM issus dudit premier module de pré-construction en entrée de ladite entité de détection (304) dudit deuxième module de correction.

12. Programme d'ordinateur comportant des instructions pour la mise en œuvre d'un procédé de transmission selon la revendication 1 lorsque ce programme est exécuté par un processeur.

1/4

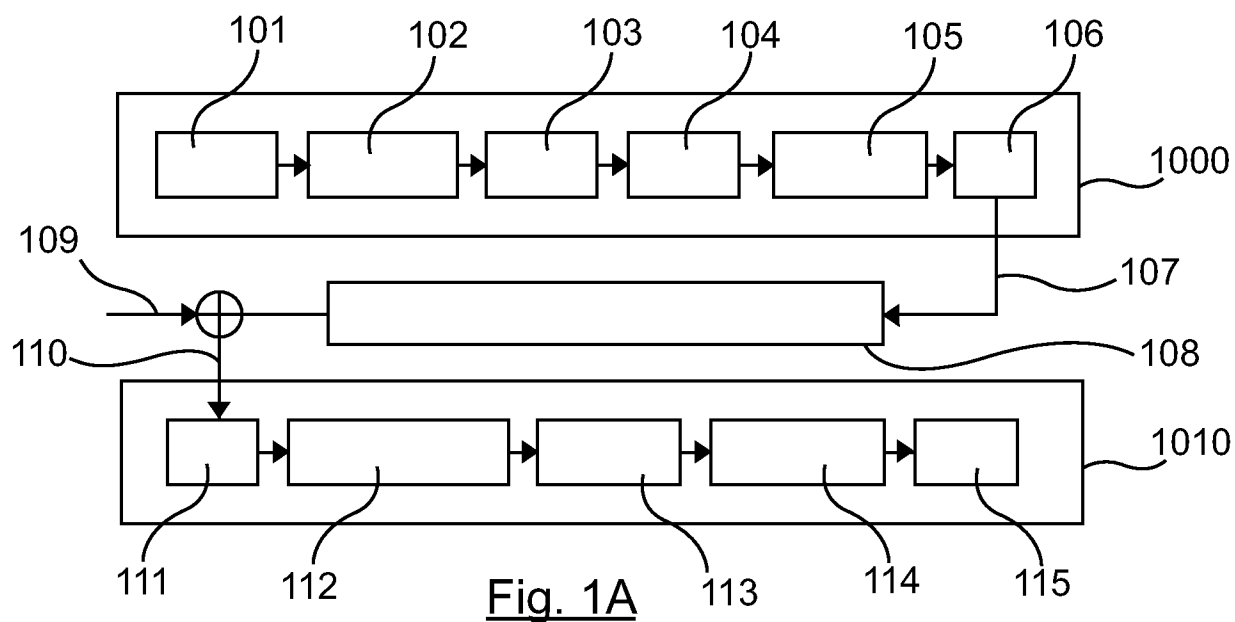


Fig. 1A

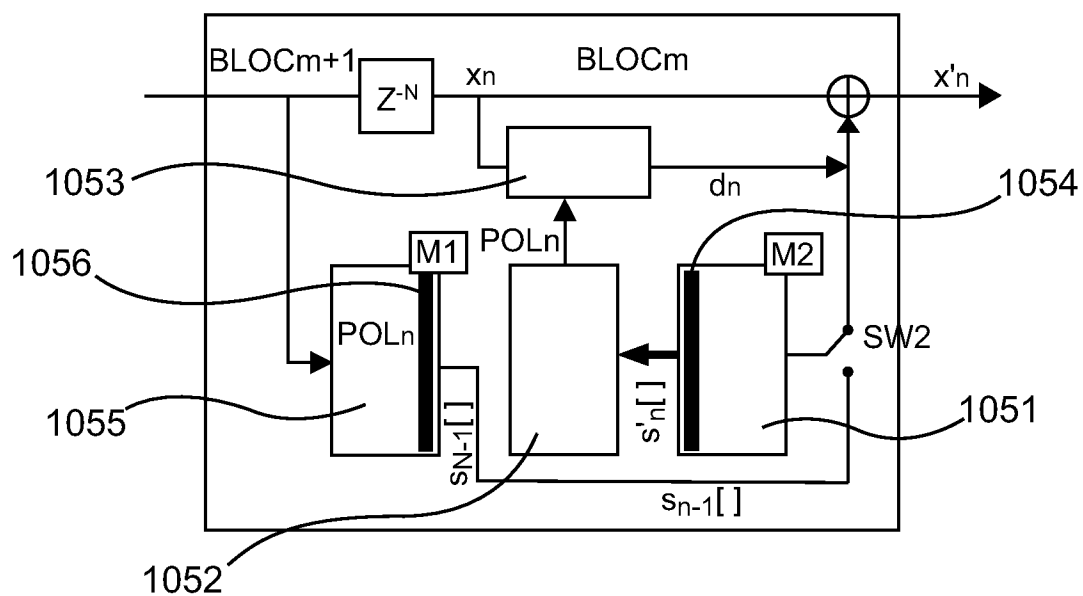


Fig. 1B

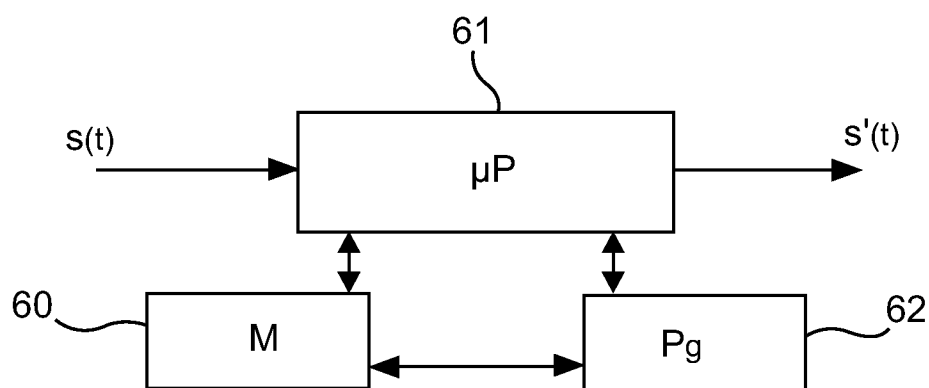


Fig. 6

2/4

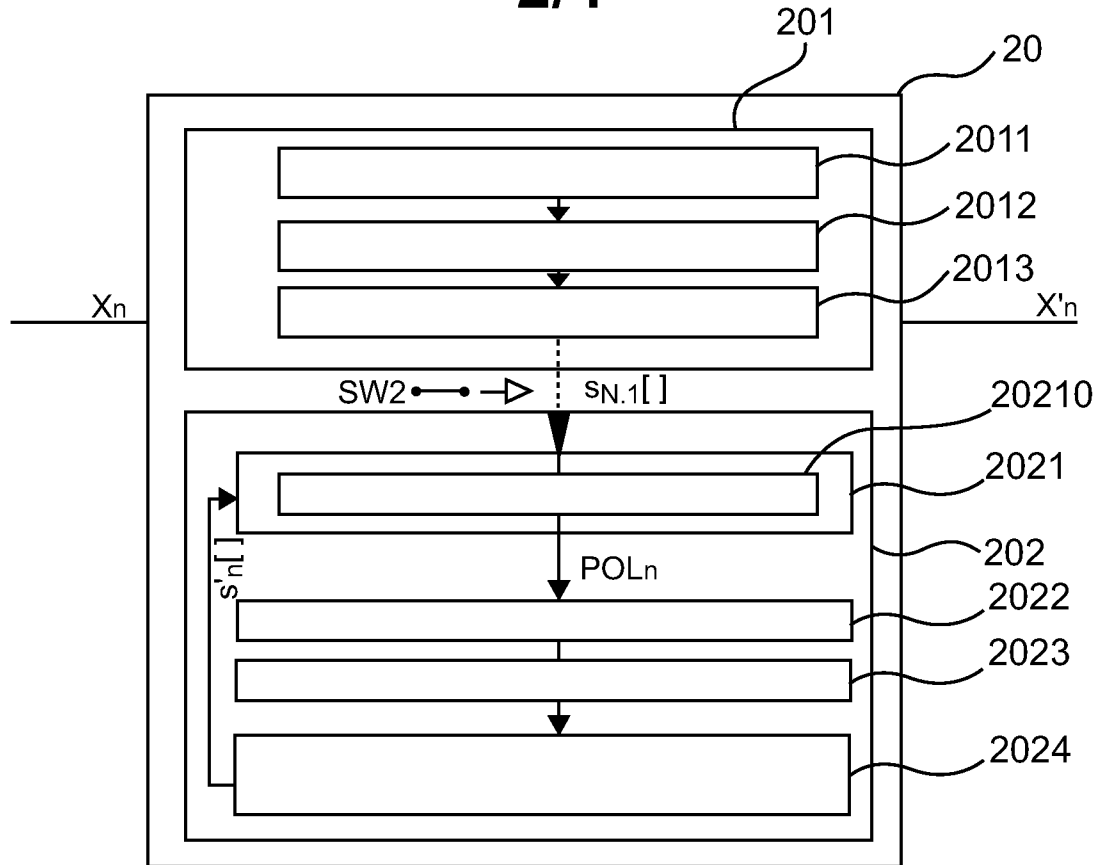


Fig. 2

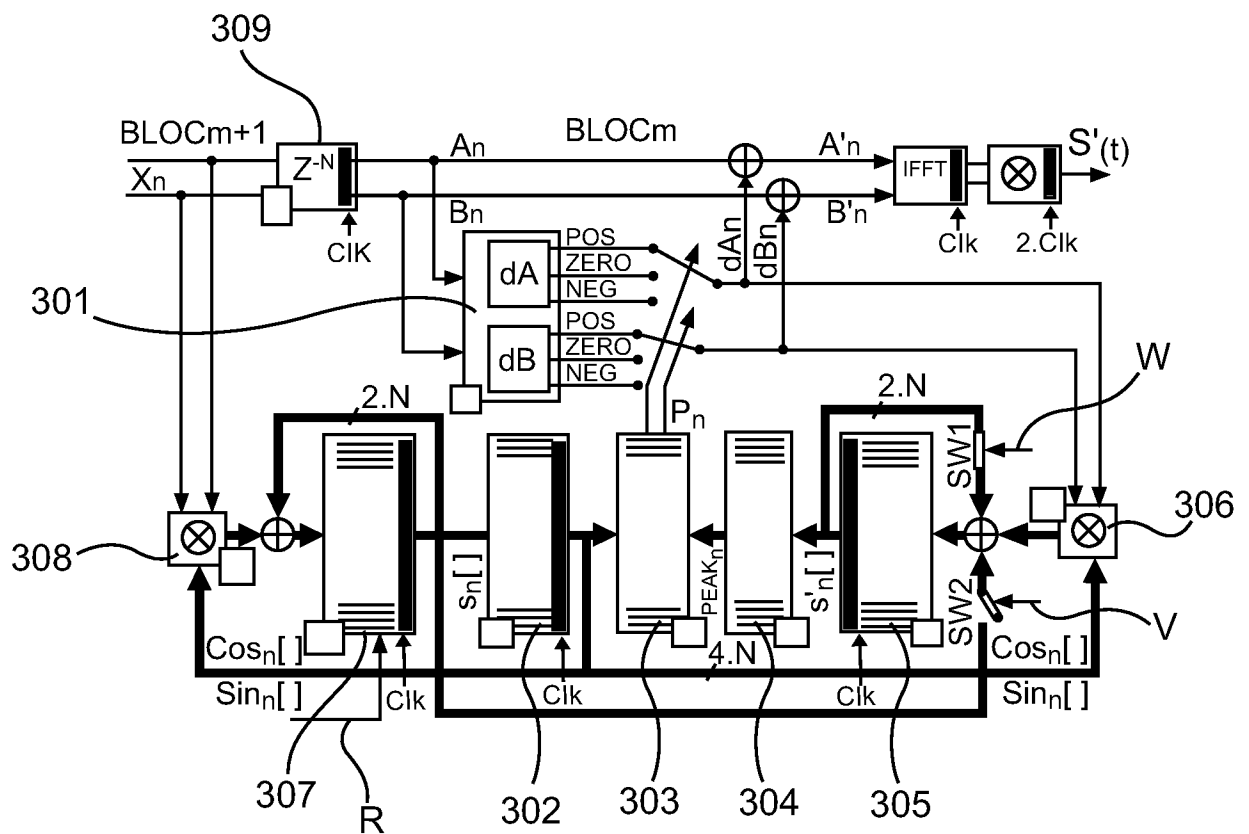


Fig. 3

3/4

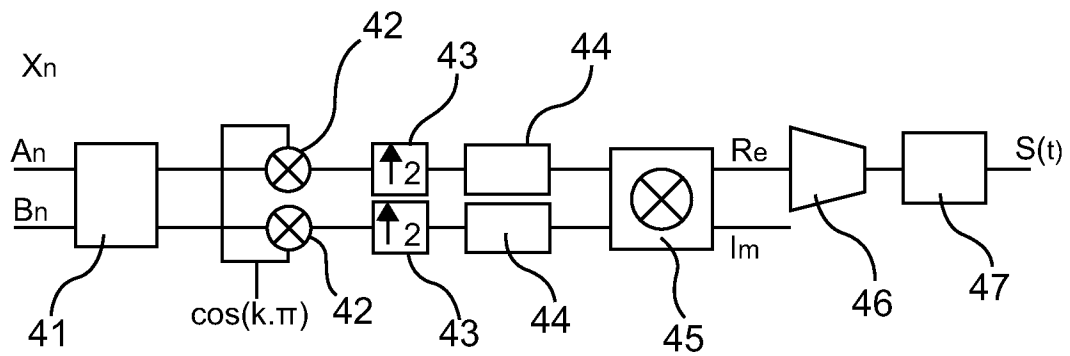


Fig. 4A

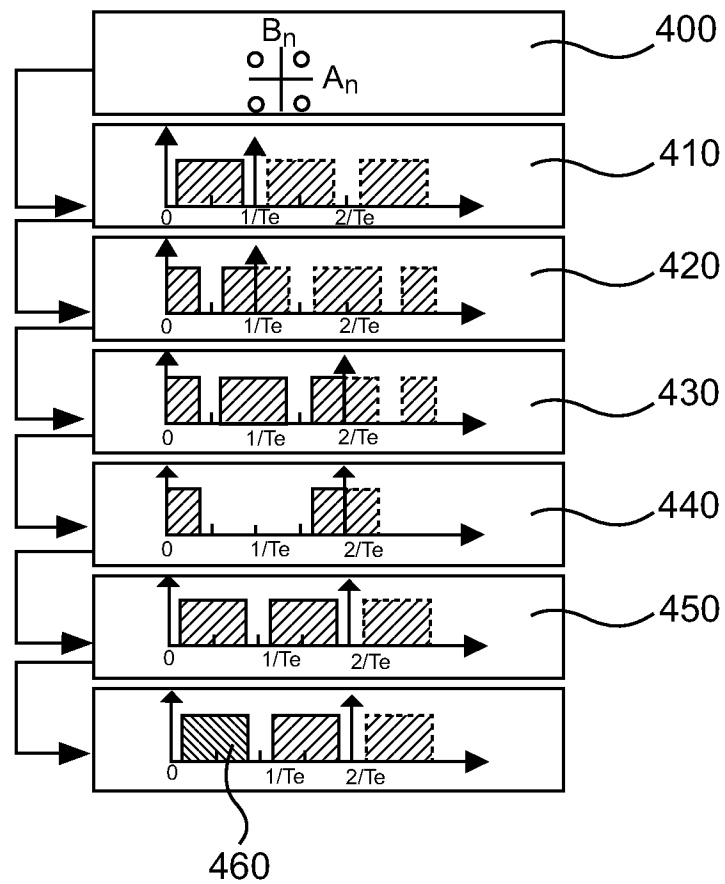


Fig. 4B

4/4

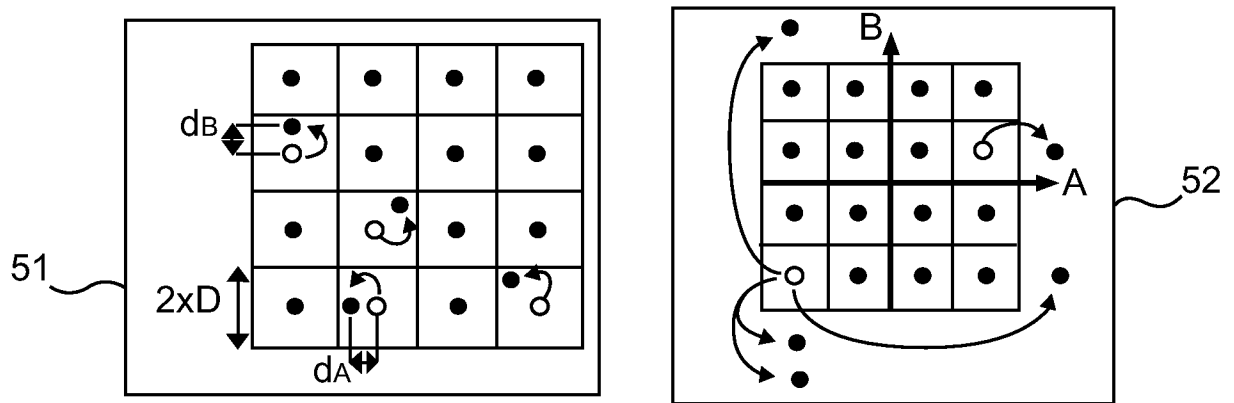


Fig. 5A

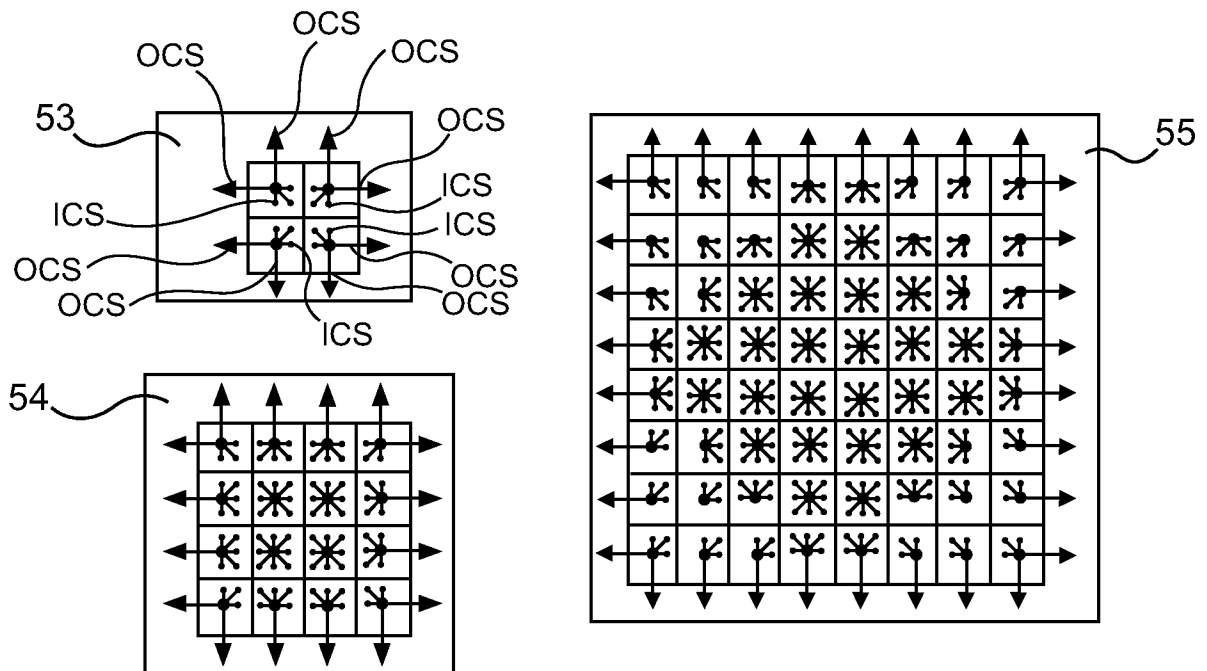


Fig. 5B

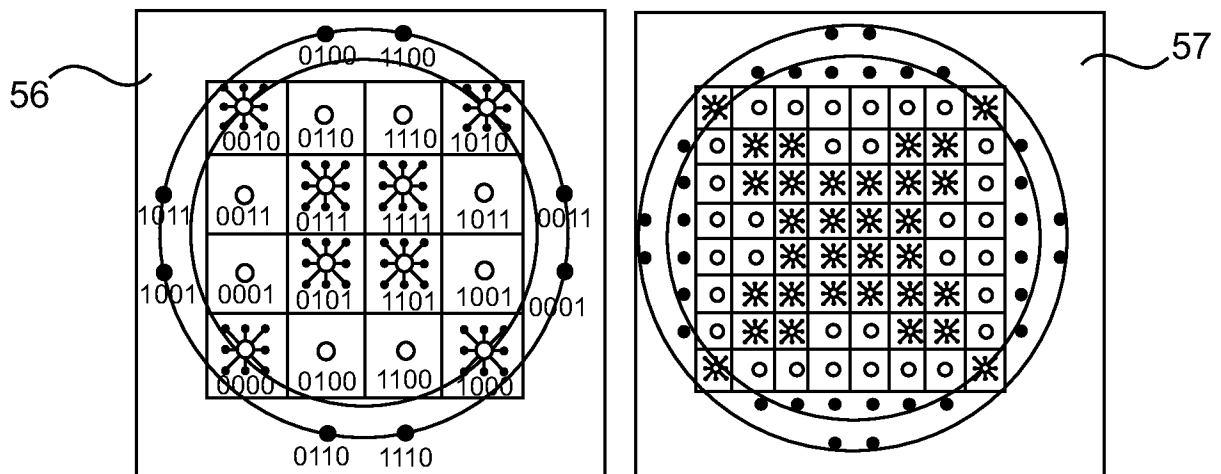


Fig. 5C

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2013/052319

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H04L27/26
ADD.

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

B. FIELDS SEARCHED

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

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

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

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 6 757 299 B1 (VERMA AMIT [IN]) 29 June 2004 (2004-06-29) abstract figure 2 figure 4 column 4, line 50 - column 5, line 4 column 5, line 40 - column 6, line 40 -----	1-12
A	US 7 254 180 B1 (OELCER SEDAT [CH]) 7 August 2007 (2007-08-07) column 8, line 52 - column 9, line 17 figure 4 ----- -/--	1-12



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

5 December 2013

Date of mailing of the international search report

12/12/2013

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Douglas, Ian

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2013/052319

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	LEONARD J CIMINI JR ET AL: "Peak-to-Average Power Ratio Reduction of an OFDM Signal Using Partial Transmit Sequences", IEEE COMMUNICATIONS LETTERS, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, vol. 4, no. 3, 1 March 2000 (2000-03-01), pages 86-88, XP011083857, ISSN: 1089-7798 paragraph [00II] - paragraph [0III] -----	1-12
A	YAN XIN ET AL: "Low complexity PTS approaches for PAPR reduction of OFDM signals", COMMUNICATIONS, 2005. ICC 2005. 2005 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SEOUL, KOREA 16-20 MAY 2005, PISCATAWAY, NJ, USA, IEEE, vol. 3, 16 May 2005 (2005-05-16), pages 1991-1995, XP010826220, DOI: 10.1109/ICC.2005.1494687 ISBN: 978-0-7803-8938-0 paragraph [0IID] -----	1,10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/FR2013/052319

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 6757299	B1	29-06-2004	NONE
US 7254180	B1	07-08-2007	NONE

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2013/052319

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. 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		
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, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	US 6 757 299 B1 (VERMA AMIT [IN]) 29 juin 2004 (2004-06-29) abrégé figure 2 figure 4 colonne 4, ligne 50 - colonne 5, ligne 4 colonne 5, ligne 40 - colonne 6, ligne 40 -----	1-12
A	US 7 254 180 B1 (OELCER SEDAT [CH]) 7 août 2007 (2007-08-07) colonne 8, ligne 52 - colonne 9, ligne 17 figure 4 ----- -/--	1-12
☒ 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 5 décembre 2013		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 12/12/2013
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé Douglas, Ian

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	LEONARD J CIMINI JR ET AL: "Peak-to-Average Power Ratio Reduction of an OFDM Signal Using Partial Transmit Sequences", IEEE COMMUNICATIONS LETTERS, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, vol. 4, no. 3, 1 mars 2000 (2000-03-01), pages 86-88, XP011083857, ISSN: 1089-7798 alinéa [00II] - alinéa [0III] -----	1-12
A	YAN XIN ET AL: "Low complexity PTS approaches for PAPR reduction of OFDM signals", COMMUNICATIONS, 2005. ICC 2005. 2005 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SEOUL, KOREA 16-20 MAY 2005, PISCATAWAY, NJ, USA, IEEE, vol. 3, 16 mai 2005 (2005-05-16), pages 1991-1995, XP010826220, DOI: 10.1109/ICC.2005.1494687 ISBN: 978-0-7803-8938-0 alinéa [0IID] -----	1,10

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2013/052319

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 6757299	B1	29-06-2004	AUCUN
US 7254180	B1	07-08-2007	AUCUN