



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

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/EP2010/055351

(22) Date de dépôt international :

22 avril 2010 (22.04.2010)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
0952818 29 avril 2009 (29.04.2009) FR

(71) Déposants (pour tous les États désignés sauf US) :
COMMISSARIAT À L'ÉNERGIE ATOMIQUE ET
AUX ÉNERGIES ALTERNATIVES [FR/FR]; 25, rue
Leblanc, Bâtiment "Le Ponant D", F-75015 Paris (FR).
TELECOM PARIS TECH [FR/FR]; 46 rue Barrault,
F-75013 Paris (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) :
BOUZEGZI, Abdelaziz [DZ/FR]; 68, rue chaponnay,

F-69003 Lyon (FR). CIBLAT, Philippe [FR/FR]; 30 rue
Le Bua, F-75020 Paris (FR). JALLON, Pierre [FR/FR];
43 boulevard Vallier, F-38100 Grenoble (FR).

(74) Mandataires : AUGARDE, Eric et al.; Brevaux, 56
boulevard de l'Embouchure, B.P. 27519, F-31075
TOULOUSE Cedex 2 (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, 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, KM, 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, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, 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, SD, SL, SZ, TZ, UG,
ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ,
TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : METHOD FOR IDENTIFYING AN OFDM SIGNAL

(54) Titre : MÉTHODE D'IDENTIFICATION D'UN SIGNAL OFDM

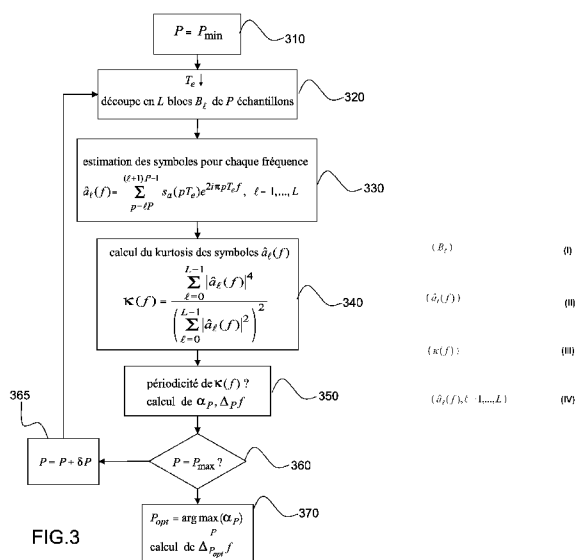


FIG.3

320 T_e cut into L blocks (I) of P samples
330 estimation of the symbols for every frequency
340 calculation of the kurtosis of the symbols
350 periodicity of
360 calculation of
370 calculation of

(57) Abstract : The present invention relates to a method for identifying an OFDM signal in a received signal, according to which the received signal is sampled and cut into blocks of P samples, each block (I) being subjected to an inverse Fourier transform in order to obtain a plurality of symbols (II) with a plurality of frequencies. For every frequency of said plurality of frequencies, the kurtosis (III) of a set of symbols (IV) obtained at said frequency is calculated, after which it is determined whether the kurtosis has a periodicity in the frequency domain using kurtosis values calculated for the frequencies of said plurality of frequencies, and the presence of an OFDM signal is identified in the received signal if the kurtosis has such a periodicity.

(57) Abrégé : La présente invention concerne une méthode d'identification de signal OFDM dans un signal reçu, selon laquelle on échantillonne le signal reçu et on le découpe en blocs de P échantillons, chaque bloc (I) étant soumis à une transformée de Fourier inverse pour obtenir une pluralité de symboles (II) à une pluralité de fréquences. Pour chaque fréquence de ladite pluralité, on calcule le kurtosis (III) d'un ensemble de symboles (IV) obtenus à cette fréquence, puis l'on détermine si le kurtosis présente une périodicité dans le domaine fréquentiel à partir des valeurs de kurtosis calculées pour les fréquences de ladite pluralité, et l'on identifie la présence d'un signal OFDM dans le signal reçu si le kurtosis présente une telle périodicité.



ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, **Publiée :**

MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM,

TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW,

ML, MR, NE, SN, TD, TG).

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

MÉTHODE D'IDENTIFICATION D'UN SIGNAL OFDM**DESCRIPTION****DOMAINE TECHNIQUE**

La présente invention concerne une méthode
5 d'identification aveugle d'un signal OFDM. Cette
méthode trouve en particulier application pour les
systèmes de télécommunication dits opportunistes dans
le domaine de la radio cognitive (*Cognitive Radio*).

ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

Un terminal de télécommunication opportuniste
doit connaître en permanence son environnement spectral
afin d'adapter ses paramètres de transmission pour ne
pas interférer avec les systèmes de télécommunication
15 existants, dits systèmes de télécommunication
primaires.

La plupart des systèmes de télécommunication
primaires avec lesquels une utilisation opportuniste du
spectre est envisagée sont des systèmes de
20 télécommunication OFDM. Dès lors, il importe pour un
terminal opportuniste si un signal OFDM est présent
dans son environnement et, le cas échéant de déterminer
les paramètres de ce signal.

La modulation OFDM est bien connue de l'état de
25 la technique et est employée dans de nombreux systèmes
de télécommunication tels que DVB-T, ADSL, Wi-Fi (IEEE
802 a/g), WiMax (IEEE 802.16). Elle présente l'avantage
d'une bonne efficacité spectrale et d'une bonne

protection contre les évanouissements sélectifs en fréquence.

On rappelle que dans un système OFDM, les symboles d'information à transmettre sont groupés par blocs de 5 N symboles, où N est généralement une puissance de 2, les symboles OFDM étant obtenus en effectuant une IFFT (*Inverse Fast Fourier Transform*) sur lesdits blocs de symboles d'information. Généralement, un préfixe cyclique est rajouté au début de chaque symbole OFDM 10 pour absorber l'interférence inter-symbole ou ISI et faciliter l'égalisation à la réception. Le signal OFDM constitué par ces symboles OFDM peut être éventuellement ensuite translaté en fréquence.

De manière générale, le signal émis par un système 15 OFDM peut être représenté en bande de base par :

$$s_a(t) = \frac{\sqrt{E}}{N} \sum_k g(t - kT_s) \cdot \sum_{n=0}^{N-1} a_{k,n} e^{-2i\pi \frac{n}{NT_c}(t - DT_c - kT_s)} \quad (1)$$

où $T_s = (N+D)T_c$ est la durée d'un symbole OFDM, E est la 20 puissance du signal, N est le nombre de porteuses du multiplex OFDM, $a_{k,n}$ sont les symboles d'information relatifs au bloc k , appartenant à un alphabet de modulation M -aire, typiquement BPSK, QPSK ou QAM, $1/T_c$ est le débit des symboles d'information où T_c est le 25 temps « bribe » ou « chip », D est la taille du préfixe cyclique exprimée en nombre de bribes, $g(t)$ est une impulsion de mise en forme des symboles OFDM ayant un support temporel $[0, (N+D)T_c]$ destiné à apodiser le spectre du signal.

On a représenté de manière schématique un signal OFDM en Fig. 1. Il est constitué d'une séquence de symboles OFDM, chaque symbole présentant une durée totale $(N+D)T_c$ dont une durée utile NT_c et un
5 intervalle de garde de durée $T_{prefix} = DT_c$, dans lequel se trouve le préfixe cyclique. On rappelle que, de manière classique, le préfixe cyclique est une copie de la fin du symbole OFDM à l'intérieur de l'intervalle de garde. Dans certains systèmes OFDM, les préfixes cycliques
10 sont simplement omis, autrement dit les parties utiles des symboles sont séparées par des intervalles de garde « vides ».

Les méthodes connues d'identification d'un signal OFDM exploitent pour la plupart les propriétés
15 statistiques du signal induites par la présence du préfixe cyclique. Toutefois ces méthodes s'avèrent peu performantes lorsque la longueur du préfixe cyclique est faible par rapport à la durée utile du symbole OFDM, ce qui est très commun en pratique, notamment
20 dans les systèmes WiMax et DVB-T. En outre, ces méthodes donnent de mauvais résultats lorsque les canaux de transmission sont de type multi-trajet.

Une méthode d'identification utilisant la périodicité temporelle de la fonction d'auto-
25 corrélation du signal OFDM a été décrite dans l'article d'A. Bouzegzi et al. intitulé « A second order statistics based algorithm for blind recognition of OFDM based systems » publié dans IEEE Global Telecommunications Conference (Globecom), Nov. 2008. Si
30 cette méthode présente une grande robustesse aux faibles tailles de préfixe cyclique et aux canaux

multi-trajets, elle nécessite cependant la présence d'un préfixe cyclique dans les symboles OFDM.

Plusieurs méthodes d'identification ont été récemment proposées pour s'affranchir de la présence d'un préfixe cyclique, notamment celle décrite dans l'article d'A. Bouzegzi et al. intitulé « A fourth-order based algorithm for characterization of OFDM signals » publié dans IEEE Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC), Juillet 2008. Cette méthode, basée sur un critère de minimisation d'entropie en sortie d'un démodulateur OFDM, nécessite une synchronisation temporelle et fréquentielle qui est difficilement compatible avec une implémentation temps réel.

Le but de la présente invention est par conséquent de proposer une méthode d'identification aveugle d'un signal OFDM qui ne dépende pas de la présence et de la nature du préfixe utilisé, notamment de son caractère cyclique, sans requérir pour autant une synchronisation temporelle et/ou fréquentielle.

Un autre but de la présente invention est de proposer une méthode d'identification de signal OFDM indépendante de la longueur du préfixe utilisé, cyclique ou non, qui soit à la fois robuste au bruit et aux multi-trajets.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

La présente invention est définie par une méthode d'identification de signal OFDM dans un signal reçu, selon laquelle on échantillonne le signal reçu et on le découpe en blocs de P échantillons, chaque bloc (B_i)

étant ensuite soumis à une transformée de Fourier inverse pour obtenir une pluralité de symboles ($\hat{a}_\ell(f)$) à une pluralité de fréquences. Pour chaque fréquence de ladite pluralité, on calcule le kurtosis ($\kappa(f)$) d'un ensemble de symboles ($\hat{a}_\ell(f), \ell=1, \dots, L$) ainsi obtenus à cette fréquence, puis l'on détermine si ledit kurtosis présente une périodicité dans le domaine fréquentiel à partir des valeurs de kurtosis calculées pour les fréquences de ladite pluralité, et l'on identifie la présence d'un signal OFDM dans le signal reçu si le kurtosis présente une telle périodicité.

Avantageusement, pour déterminer si ledit kurtosis présente une périodicité dans le domaine fréquentiel, on calcule son spectre et l'on détermine si celui-ci présente un pic spectral pour une valeur de période (Δf).

On peut alors retrancher au kurtosis sa valeur moyenne ($\bar{\kappa}$) et l'on calcule la transformée de Fourier du kurtosis ainsi centré, un pic spectral étant détecté si sa hauteur (α_p) est supérieure à une hauteur de seuil prédéterminée (α_r).

Selon un exemple avantageux de réalisation, on cherche à identifier la présence d'un signal OFDM de durée de symbole OFDM T_s donnée. Le nombre d'échantillons par bloc est alors choisi tel que

$$P_{opt} \approx 1,5 \frac{T_s}{T_e} \text{ où } T_e \text{ est la période d'échantillonnage.}$$

Selon une variante, on répète le découpage du signal échantillonné en blocs de P échantillons pour une pluralité de valeurs de P , on répète le calcul du kurtosis pour ladite pluralité de valeurs de P , on

calcule les spectres des kurtosis ainsi obtenus, on détermine la hauteur d'un pic spectral (α_p) dans chacun de ces spectres (H_p) et l'on sélectionne la valeur $P=P_{opt}$ correspondant à la hauteur de pic la plus élevée.

5 Dans ce cas, pour la valeur P_{opt} sélectionnée, on détermine avantageusement si le pic spectral présente une hauteur ($\alpha_{p_{opt}}$) supérieure à une valeur de seuil prédéterminée (α_T).

On peut également déterminer l'espacement entre
10 sous-porteuses du dit signal OFDM à partir de la position du pic spectral dans le spectre du kurtosis obtenu pour la valeur P_{opt} sélectionnée.

On peut enfin déterminer la durée utile d'un symbole OFDM dans ledit signal OFDM à partir de la
15 position du pic spectral dans le spectre du kurtosis obtenu pour la valeur P_{opt} sélectionnée.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

D'autres caractéristiques et avantages de
20 l'invention apparaîtront à la lecture de modes de réalisation préférentiels de l'invention, en relation avec les figures jointes parmi lesquelles :

La Fig. 1 illustre de manière schématique un signal OFDM ;

25 La Fig. 2 illustre de manière schématique une fenêtre d'échantillonnage d'un signal OFDM ;

La Fig. 3 représente schématiquement un organigramme de la méthode d'identification d'un signal OFDM selon un mode de réalisation de l'invention ;

La Fig. 4A illustre la variation du kurtosis d'un groupe de symboles estimés par fréquence, pour un signal OFDM s'étant propagé dans un canal BBAG ;

La Fig. 4B montre le spectre du kurtosis de la Fig. 4A ;

La Fig. 5A illustre les variations du kurtosis d'un groupe de symboles estimés par fréquence, pour un signal OFDM s'étant propagé dans un canal de type multi-trajet ;

La Fig. 5B montre le spectre du kurtosis de la Fig. 5A ;

La Fig. 6 représente un exemple de variation de la hauteur du pic du spectre du kurtosis en fonction du rapport de la largeur de la fenêtre d'échantillonnage sur la durée d'un symbole OFDM.

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

Nous considérerons dans la suite un terminal opportuniste cherchant à identifier un signal OFDM, c'est-à-dire à déterminer si un signal OFDM est présent dans son environnement et, le cas échéant, à obtenir au moins un paramètre de modulation de ce signal. Par paramètre de modulation du signal OFDM nous entendons ici la durée utile du symbole OFDM ($T_u = NT_c$) ou de manière équivalente l'espacement entre sous-porteuses ($1/NT_c$), la durée de préfixe (DT_c), la durée totale du symbole OFDM ($T_s = (N+D)T_c$).

Nous supposerons que, s'il est présent, le signal OFDM a la forme donnée par l'expression (1).

Le terminal opportuniste effectue un échantillonnage du signal reçu en bande de base, la

fréquence porteuse étant supposée connue ou appartenant à un ensemble de valeurs discrètes connues. Si $f_e = 1/T_e$ est la fréquence d'échantillonnage utilisée, choisie suffisamment élevée pour respecter le critère de Nyquist par rapport à la largeur de bande d'un éventuel signal OFDM. Le signal ainsi échantillonné est découpé en L blocs de P échantillons. Les échantillons du bloc ℓ peuvent s'exprimer sous la forme :

$$s_{\ell,a}(p) = s_a(pT_e - \ell PT_e) \Pi_{PT_e}(pT_e - \ell PT_e) \quad (2)$$

où Π_{PT_e} est la fonction fenêtre de largeur PT_e telle que $\Pi_{PT_e}(u) = 1$ si $0 \leq u < PT_e$ et $\Pi_{PT_e}(u) = 0$ sinon, ℓ est l'indice de bloc, noté B_ℓ . La largeur temporelle PT_e d'un bloc est choisie suffisamment grande pour être supérieure aux durées de symbole OFDM couramment utilisées.

La Fig. 2 montre schématiquement les positions relatives des blocs et des symboles OFDM du signal reçu.

Pour un bloc B_ℓ donné, on note T_0 le temps séparant le début du bloc et le début du premier symbole OFDM contenu dans ce bloc. De manière similaire, on note T_1 le temps séparant la fin du bloc et la fin du dernier symbole OFDM contenu dans ce bloc. L'indice ℓ a été omis de T_0 et T_1 pour des raisons de simplification de notation. On comprendra qu'en règle générale les blocs B_ℓ ne sont pas synchronisés avec les symboles OFDM.

Une fois le signal échantillonné et découpé en blocs, on effectue une transformée de Fourier de chaque bloc B_ℓ , typiquement une FFT, pour estimer le symbole d'information porté par la porteuse f de ce bloc, soit :

$$\hat{a}_\ell(f) = \sum_{p=\ell P}^{(\ell+1)P-1} s_a(pT_e) e^{2i\pi p T_e f} \quad (3)$$

On obtient ainsi une suite de symboles estimés pour chaque fréquence $\hat{a}_\ell(f)$, $\ell=1,\dots,L$ où L est le nombre de blocs successifs considéré.

Nous supposons ici que les symboles d'information $a_{k,n}$ peuvent être représentés par des variables aléatoires indépendantes et identiquement distribuées. Plus précisément ces variables aléatoires sont alors indépendantes d'un symbole OFDM à l'autre et d'une porteuse à l'autre. Les symboles OFDM peuvent contenir ou non un préfixe, cyclique ou non.

Afin de montrer l'indépendance et la robustesse de la méthode d'identification proposée, nous supposons que la longueur de préfixe est nulle.

Enfin nous considérerons dans un premier temps un canal gaussien sans bruit, le cas d'un canal réel étant envisagé ensuite.

La méthode d'identification selon l'invention est fondée sur la propriété remarquable suivante :

$\forall f \in [0, 1/T_c]$, si $f + \Delta f \in [0, 1/T_c]$ on a :

$$\forall \ell, \kappa(\hat{a}_\ell(f)) = \kappa(\hat{a}_\ell(f + \Delta f)) + O\left(\frac{1}{N}\right) \quad (4)$$

5 où $\kappa(\hat{a}_\ell(f))$ est le kurtosis de $\hat{a}_\ell(f)$ considéré comme variable aléatoire. En d'autres termes, pour une fréquence f donnée, le kurtosis des symboles estimés sur cette fréquence est une fonction presque périodique de presque période Δf .

10

La propriété (4) peut se démontrer comme suit :

$$\begin{aligned} \hat{a}_\ell(f) &= \sum_{p=\ell P}^{(\ell+1)P-1} s_a(pT_e) e^{2i\pi p T_e f} \\ &= \sum_k \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} a_{k,n} e^{-2i\pi n \Delta f k T_s} \sum_{p=\ell P}^{(\ell+1)P-1} s_a(pT_e) e^{-2i\pi p T_e (n\Delta f - f)} g(pT_e - kT_s) \end{aligned} \quad (5)$$

15

Le bloc B_ℓ n'étant pas synchrone avec les symboles OFDM, il comprendra de manière générale une première partie constituée d'une portion de fin de symbole OFDM d'indice k_0 , une deuxième partie
20 constituée d'un nombre entier $K \geq 1$ de symboles OFDM d'indices respectifs $k_1, \dots, k_K$ et une troisième partie constituée d'une portion de début de symbole OFDM d'indice k_{K+1} .

En effectuant cette décomposition en trois
25 parties et en introduisant la notation $\tilde{a}_{k,n} = a_{k,n} e^{-2i\pi n \Delta f k T_s}$, l'expression (5) devient :

$$\hat{a}_\ell(f) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \left[\tilde{a}_{k_0,n} \sum_{p=\ell P}^{\ell P + \lfloor T_0/T_e \rfloor} e^{-2i\pi p T_e (n\Delta f - f)} + \sum_{k=k_1}^{k_K} \tilde{a}_{k,n} \sum_{p=0}^{\lfloor T_s/T_e \rfloor - 1} e^{-2i\pi p T_e (n\Delta f - f)} \right. \\ \left. + \tilde{a}_{k_{K+1},n} \sum_{p=(\ell+1)P}^{(\ell+1)P-1} e^{-2i\pi p T_e (n\Delta f - f)} \right] \quad (6)$$

5 où $\lfloor x \rfloor$ est le plus grand entier inférieur ou égal à x ,
soit encore :

$$\hat{a}_\ell(f) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \left[\sum_{k=k_0}^{k_{K+1}} \tilde{a}_{k,n} e^{i\theta_k} \Lambda_{k,n}(f) \right] \quad (7)$$

10 avec :

$$\Lambda_{k,n}(f) = \frac{\sin(\pi T_s (n\Delta f - f))}{\sin(\pi T_e (n\Delta f - f))}, \quad k = k_1, \dots, k_K \quad (8)$$

$$\Lambda_{k_0,n}(f) = \frac{\sin(\pi T_0 (n\Delta f - f))}{\sin(\pi T_e (n\Delta f - f))} \quad \text{et} \quad \Lambda_{k_{K+1},n}(f) = \frac{\sin(\pi T_1 (n\Delta f - f))}{\sin(\pi T_e (n\Delta f - f))}$$

15 et où $e^{i\theta_k}$ est un terme de phase.

Le kurtosis des symboles estimés est donné par
définition par :

$$20 \quad \kappa(\hat{a}_\ell(f)) = \frac{\text{cum}_4(\hat{a}_\ell(f))}{\left\{ E\left(\left| \hat{a}_\ell(f) \right|^2 \right) \right\}^2} \quad (9)$$

où $cum_4(\hat{a}_\ell(f))$ est le moment d'ordre 4 (cumulant d'ordre 4) de $\hat{a}_\ell(f)$ et $E(\hat{a}_\ell(f)^2)$ est la variance de $\hat{a}_\ell(f)$ (de moyenne nulle).

5 Le numérateur de l'expression (9) peut encore être écrit sous la forme :

$$\begin{aligned}
 cum_4(\hat{a}_\ell(f)) &= cum_4\left(\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \left[\sum_{k=k_0}^{k_{K+1}} \tilde{a}_{k,n} e^{i\theta_k} \Lambda_{k,n}(f) \right]\right) \\
 &= \frac{1}{N^4} \sum_{n^{(1)}, n^{(2)}, n^{(3)}, n^{(4)}} \left(\sum_{k^{(1)}, k^{(2)}, k^{(3)}, k^{(4)}} \tilde{\Lambda}_{k^{(1)}, n^{(1)}}(f) \tilde{\Lambda}_{k^{(2)}, n^{(2)}}^*(f) \tilde{\Lambda}_{k^{(3)}, n^{(3)}}(f) \tilde{\Lambda}_{k^{(4)}, n^{(4)}}^*(f) \right. \\
 &\quad \left. E(\tilde{a}_{k^{(1)}, n^{(1)}}, \tilde{a}_{k^{(2)}, n^{(2)}}^*, \tilde{a}_{k^{(3)}, n^{(3)}}, \tilde{a}_{k^{(4)}, n^{(4)}}^*) \right)
 \end{aligned}$$

(10)

où l'on a distingué par commodité $n^{(i)}$ et $k^{(i)}$, $i=1, \dots, 4$ les quatre indices n et k intervenant dans le calcul du moment et où $\tilde{\Lambda}_{k,n}(f) = e^{i\theta_k} \Lambda_{k,n}(f)$.

15 Etant donné que les symboles d'information sont des variables aléatoires indépendantes d'un symbole à l'autre et d'une sous-porteuse à l'autre, tous les termes croisés de l'expression (10) sont nuls et le cumulant d'ordre 4 se simplifie sous la forme :

20

$$cum_4(\hat{a}_\ell(f)) = cum_4(\tilde{a}_\ell(f)) \left(\frac{1}{N^4} \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{k=k_0}^{k_{K+1}} |\Lambda_{k,n}(f)|^4 \right) \quad (11)$$

De manière similaire le dénominateur de l'expression (9) peut s'écrire sous la forme :

25

$$E\left(\hat{a}_\ell(f)\right)^2 = E\left(\tilde{a}\right)^2 \left(\frac{1}{N^2} \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{k=k_0}^{k_{K+1}} \left| \Lambda_{k,n}(f) \right|^2 \right) \quad (12)$$

Des expressions (11) et (12) on déduit alors le kurtosis :

5

$$\kappa(\hat{a}_\ell(f)) = \kappa(\tilde{a}) \frac{\left(\sum_{n=0}^{N-1} \sum_{k=k_0}^{k_{K+1}} \left| \Lambda_{k,n}(f) \right|^4 \right)}{\left(\sum_{n=0}^{N-1} \sum_{k=k_0}^{k_{K+1}} \left| \Lambda_{k,n}(f) \right|^2 \right)^2} \quad (13)$$

Etant donné que $\kappa(\tilde{a}) = \kappa(a)$, on peut désormais vérifier si la propriété (4) est satisfaite :

10

$$\kappa(\hat{a}_\ell(f + \Delta f)) = \kappa(a) \frac{\left(\sum_{n=0}^{N-1} \sum_{k=k_0}^{k_{K+1}} \left| \Lambda_{k,n}(f + \Delta f) \right|^4 \right)}{\left(\sum_{n=0}^{N-1} \sum_{k=k_0}^{k_{K+1}} \left| \Lambda_{k,n}(f + \Delta f) \right|^2 \right)^2} \quad (14)$$

C'est-à-dire, compte tenu de l'expression (8) de $\Lambda_{k,n}(f)$:

15

$$\kappa(\hat{a}_\ell(f + \Delta f)) = \kappa(a) \frac{\left(\sum_{n=-1k=k_0}^{N-2k_{K+1}} \left| \Lambda_{k,n}(f) \right|^4 \right)}{\left(\sum_{n=-1k=k_0}^{N-2k_{K+1}} \left| \Lambda_{k,n}(f) \right|^2 \right)^2} \quad (15)$$

et enfin :

$$\kappa(\hat{a}_\ell(f + \Delta f)) = \kappa(a) \frac{\left(\sum_{k=k_0}^{k_{K+1}} \sum_{n=0}^{N-1} |\Lambda_{k,n}(f)|^4 (1 + \varepsilon_k^{(4)}) \right)}{\left(\sum_{k=k_0}^{k_{K+1}} \sum_{n=0}^{N-1} |\Lambda_{k,n}(f)|^2 (1 + \varepsilon_k^{(2)}) \right)^2} \quad (16)$$

$$\text{avec } \varepsilon_k^{(i)} = \frac{|\Lambda_{k,-1}(f)|^i - |\Lambda_{k,N-1}(f)|^i}{\sum_{n=0}^{N-1} |\Lambda_{k,n}(f)|^i}, \quad i = 2, 4.$$

5 On comprendra que les $\varepsilon_k^{(i)}$ sont des termes de bord et que lorsque N tend vers l'infini, on a bien la propriété $\kappa(\hat{a}_\ell(f + \Delta f)) = \kappa(\hat{a}_\ell(f))$.

10 La Fig. 3 représente schématiquement l'organigramme de la méthode d'identification de signal OFDM selon un mode de réalisation de l'invention.

 On suppose que la fréquence d'échantillonnage du signal reçu en bande de base est choisie pour être largement supérieure aux fréquences de bribe $1/T_c$
15 couramment utilisées.

 A l'étape 310, on choisit la largeur P des fenêtres d'échantillonnage, libellée en nombre d'échantillons, autrement dit la largeur temporelle PT_c des blocs de découpage du signal reçu. Dans le cas où
20 l'on veut vérifier la présence d'un signal OFDM particulier, ayant une durée symbole T_s donnée, on choisira avantageusement :

$$P = \left\lceil \lambda \frac{T_s}{T_c} \right\rceil \quad (18)$$

où λ est un nombre réel positif, de préférence supérieur à 1, et de manière avantageuse entre 1.2 et 1.7, par exemple $\lambda=1.5$ comme nous le verrons plus loin.

5 Toutefois, de manière générale, on peut procéder entièrement en aveugle, c'est-à-dire sans connaissance préalable de la ou des valeur(s) possible(s) de T_s , auquel cas l'on choisit une valeur de P suffisamment élevée.

10 A l'étape 320, on échantillonne le signal reçu et on le découpe en blocs de P échantillons consécutifs. On suppose que le nombre de blocs ainsi acquis est L .

A l'étape 330, pour une pluralité de fréquences $f=f_0, \dots, f_J$, par exemple pour des fréquences $f_j = j\delta f$,
 15 $j=0, \dots, J-1$ où δf est un pas d'échantillonnage fréquentiel, choisi suffisamment faible par rapport à l'intervalle entre sous-porteuses des signaux OFDM usuels, on estime par transformée de Fourier inverse, typiquement au moyen d'une IFFT, les symboles portés
 20 par cette fréquence, soit d'après (3) :

$$\hat{a}_\ell(f) = \sum_{p=\ell P}^{(\ell+1)P-1} s_a(pT_e) e^{2i\pi p T_e f} \quad \text{où } s_a(t) \text{ est le signal reçu en bande}$$

de base. Pour chaque fréquence f , on obtient ainsi une séquence de symboles $\hat{a}_\ell(f)$, $\ell=1, \dots, L$.

A l'étape 340, on calcule, pour chaque fréquence
 25 f , le kurtosis des symboles estimés à cette fréquence, au moyen de l'expression suivante, définie à une constante près :

$$\kappa(f) = \frac{\sum_{\ell=0}^{L-1} |\hat{a}_{\ell}(f)|^4}{\left(\sum_{\ell=0}^{L-1} |\hat{a}_{\ell}(f)|^2 \right)^2} \quad (19)$$

Comme on l'a vu plus haut, si un signal OFDM est présent dans le signal reçu avec un intervalle entre sous-porteuses de Δf , le kurtosis $\kappa(f)$ est une fonction presque périodique de presque-période Δf .

A l'étape 350, on détermine si le kurtosis $\kappa(f)$ présente effectivement une telle périodicité. Par exemple, on calcule la transformée de Fourier du kurtosis $\kappa(f)$ auquel on a préalablement retranché sa composante continue, soit :

$$H_p = TF(\kappa(f) - \bar{\kappa}) \quad (20)$$

et l'on détermine s'il existe un pic dans le spectre ainsi obtenu.

L'homme du métier comprendra que d'autres méthodes de détermination de la périodicité du kurtosis peuvent être employées, notamment à partir du maximum de la fonction d'autocorrélation de $\kappa(f)$.

La période ou presque-période ainsi déterminée est notée $\Delta_p f$ et la hauteur du pic spectral ou du maximum de la fonction d'autocorrélation est noté(e) α_p .

On pourra utiliser un seuil de détection dans la recherche de la périodicité, par exemple pour déterminer si le pic du spectre ou le maximum de la fonction d'autocorrélation du kurtosis est bien

significatif. D'autres critères de détection de la périodicité du kurtosis pourront être envisagés sans pour autant sortir du cadre de la présente invention.

Si aucun signal OFDM n'est présent, le spectre
 5 H_p ne présente pas de pic significatif et aucune périodicité n'est détectée dans le kurtosis des symboles estimés.

Selon une première variante, la méthode
 10 d'identification s'arrête à cette étape. Ce sera notamment le cas lorsque l'on souhaite simplement vérifier si un signal OFDM ayant une durée symbole donnée T_s est présent ou non dans le signal reçu.

15 Selon une seconde variante, avantageusement utilisée en mode entièrement aveugle, on balaie une plage de largeurs de fenêtre d'échantillonnage d'une valeur minimale $P_{\min}$ à une valeur maximale $P_{\max}$.

Pour ce faire, on teste à l'étape 360 si $P = P_{\max}$.
 20 Dans la négative, on incrémente en 365 la largeur de la fenêtre d'échantillonnage, $P = P + \delta P$, où δP est un entier supérieur ou égal à 1, puis l'on retourne à l'étape 320. En revanche, dans l'affirmative, la méthode d'identification se poursuit en 370.

25 On détermine en 370 la largeur de bloc P_{opt} ayant fourni la hauteur de pic spectral la plus élevée ou le maximum de la valeur d'autocorrélation, c'est-à-dire $P_{opt} = \underset{P}{\operatorname{argmax}}(\alpha_P)$. La période ou presque-période est alors donnée par $\Delta_{P_{opt}} f$.

Comme précédemment, on pourra utiliser un seuil de détection α_T pour conclure ou non à la présence d'un signal OFDM. Par exemple, on pourra comparer la valeur la plus élevée de hauteur de pic spectral, à savoir
5 $\alpha_{P_{opt}}$, avec cette valeur de seuil et ne conclure à la présence d'un signal OFDM que si $\alpha_{P_{opt}} > \alpha_T$.

Quelle que soit la variante utilisée, la méthode d'identification fournit la période Δf et/ou la durée
10 utile correspondante de symboles OFDM.

La Fig. 4A représente la variation du kurtosis $\kappa(f)$ d'un groupe de symboles estimés pour chaque fréquence f , dans le cas d'un signal OFDM s'étant
15 propagé dans un canal à bruit additif blanc gaussien (BBAG). On remarque l'allure périodique de la fonction $\kappa(f)$ symptomatique de la présence d'un signal OFDM.

La Fig. 4B représente le spectre du kurtosis de
20 la Fig. 4A. On a fait figurer en abscisses la variable normalisée $\Delta f / \Delta f_0$ où Δf_0 est l'espacement entre sous-porteuses du signal OFDM effectivement présent dans le signal reçu. On note la présence d'un pic marqué en $\Delta f / \Delta f_0 = 1$, ce qui signifie d'une part qu'un signal OFDM
25 a bien été identifié dans le signal reçu et, d'autre part que son espacement inter-porteuse/durée utile de symbole OFDM a été correctement estimé(e).

La Fig. 5A représente la variation du kurtosis
30 $\kappa(f)$ d'un groupe de symboles estimés pour chaque

fréquence f , dans le cas d'un signal OFDM s'étant propagé dans un canal multi-trajet. On remarque que l'allure de la courbe est sensiblement plus perturbée que celle de la Fig. 4A mais qu'elle présente néanmoins
 5 des variations périodiques.

La Fig. 5B représente le spectre du kurtosis de la Fig. 5A. Là encore, on a fait figurer en abscisses la variable normalisée $\Delta f/\Delta f_0$. On observe la présence
 10 d'un pic en $\Delta f/\Delta f_0=1$ avec les mêmes conclusions que précédemment, ce qui montre bien la robustesse de la méthode d'identification.

La Fig. 6 représente la hauteur du pic spectral
 15 α_p en fonction du rapport $\frac{PT_e}{T_s}$ entre la largeur des blocs de découpage et la durée du symbole OFDM, T_s .

On observe sur la figure que le pic spectral le plus prononcé est obtenu lorsque $\frac{PT_e}{T_s} \approx 1,5$, autrement dit
 $P_{opt} \approx 1,5 \frac{T_s}{T_e}$. Ainsi, lorsqu'il s'agit de déterminer si un
 20 signal OFDM de durée symbole T_s est présent ou non, on choisira avantageusement $P=P_{opt}$.

REVENDICATIONS

1. Méthode d'identification de signal OFDM
5 dans un signal reçu, selon laquelle on échantillonne le signal reçu et on le découpe en blocs de P échantillons, chaque bloc (B_ℓ) étant ensuite soumis à une transformée de Fourier inverse pour obtenir une pluralité de symboles ($\hat{a}_\ell(f)$) à une pluralité de
10 fréquences, caractérisée en ce que, pour chaque fréquence de ladite pluralité, on calcule le kurtosis ($\kappa(f)$) d'un ensemble de symboles ($\hat{a}_\ell(f), \ell=1, \dots, L$) ainsi obtenus à cette fréquence, puis l'on détermine si ledit kurtosis présente une périodicité dans le domaine
15 fréquentiel à partir des valeurs de kurtosis calculées pour les fréquences de ladite pluralité, et l'on identifie la présence d'un signal OFDM dans le signal reçu si le kurtosis présente une telle périodicité.

20 2. Méthode d'identification selon la revendication 1, caractérisée en ce que pour déterminer si ledit kurtosis présente une périodicité dans le domaine fréquentiel, on calcule son spectre et l'on détermine si celui-ci présente un pic spectral pour une
25 valeur de période (Δf).

3. Méthode d'identification selon la revendication 2, caractérisée en ce que l'on retranche au kurtosis sa valeur moyenne ($\bar{\kappa}$) et que l'on calcule
30 la transformée de Fourier du kurtosis ainsi centré, un

pic spectral étant détecté si sa hauteur (α_p) est supérieure à une hauteur de seuil prédéterminée (α_T).

4. Méthode d'identification selon l'une des
5 revendications précédentes, caractérisée en ce que l'on cherche à identifier la présence d'un signal OFDM de durée de symbole OFDM T_s donnée et que le nombre d'échantillons par bloc est choisi tel que $P_{opt} \approx 1,5 \frac{T_s}{T_e}$ où T_e est la période d'échantillonnage.

10

5. Méthode d'identification selon la revendication 1, caractérisée en ce qu'on répète le découpage du signal échantillonné en blocs de P échantillons pour une pluralité de valeurs de P , que
15 l'on répète le calcul du kurtosis pour ladite pluralité de valeurs de P , que l'on calcule les spectres des kurtosis ainsi obtenus, que l'on détermine la hauteur d'un pic spectral (α_p) dans chacun de ces spectres (H_p) et que l'on sélectionne la valeur $P=P_{opt}$
20 correspondant à la hauteur de pic la plus élevée.

6. Méthode d'identification selon la revendication 5, caractérisée en ce que, pour la valeur P_{opt} sélectionnée, l'on détermine si le pic spectral
25 présente une hauteur ($\alpha_{P_{opt}}$) supérieure à une valeur de seuil prédéterminée (α_T).

7. Méthode selon la revendication 5 ou 6, caractérisée en ce que l'on détermine l'espacement

entre sous-porteuses du dit signal OFDM à partir de la position du pic spectral dans le spectre du kurtosis obtenu pour la valeur P_{opt} sélectionnée.

- 5 8. Méthode d'identification selon l'une des revendications 5 ou 6, caractérisée en ce que l'on détermine la durée utile d'un symbole OFDM dans ledit signal OFDM à partir de la position du pic spectral dans le spectre du kurtosis obtenu pour la valeur P_{opt}
- 10 sélectionnée.

1/5

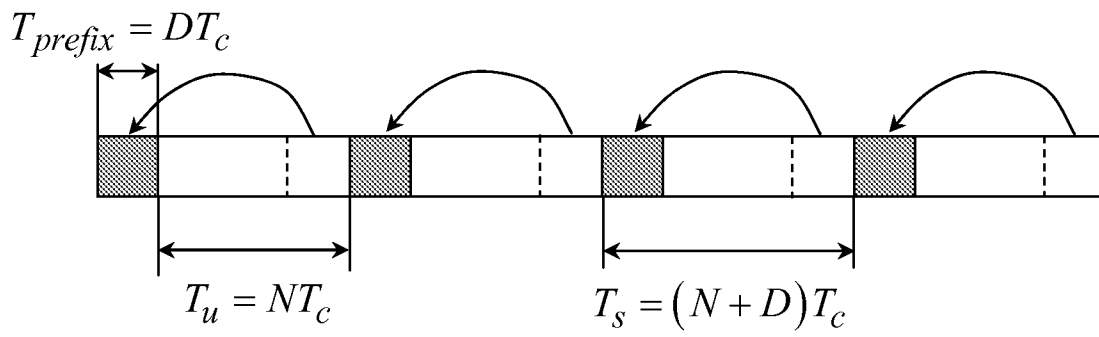


FIG.1

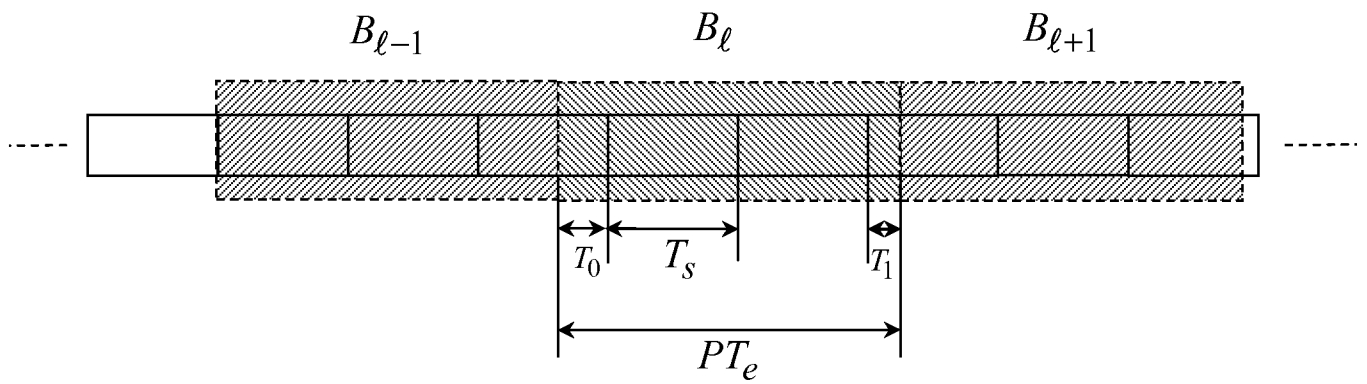
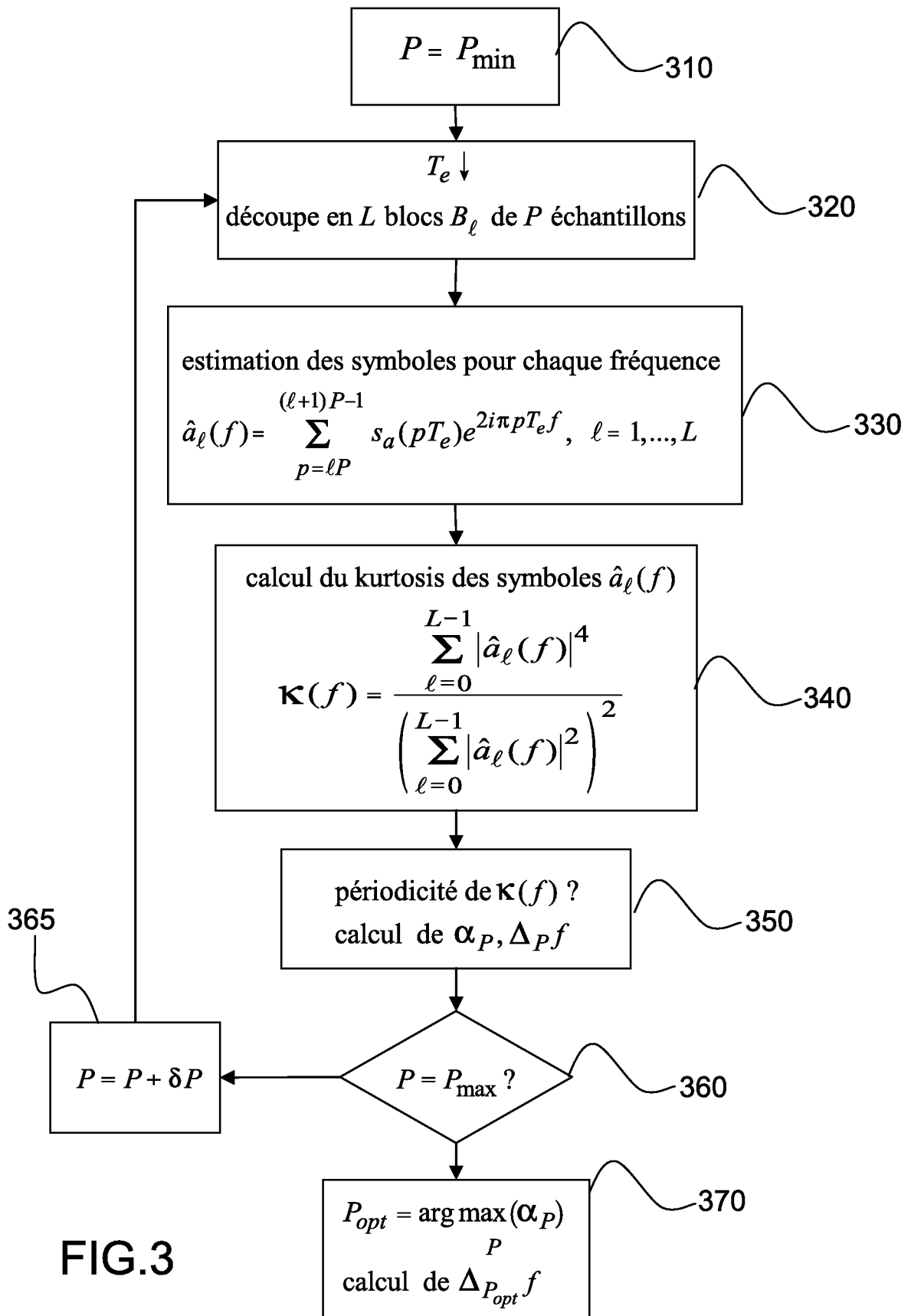


FIG.2

2/5



3/5

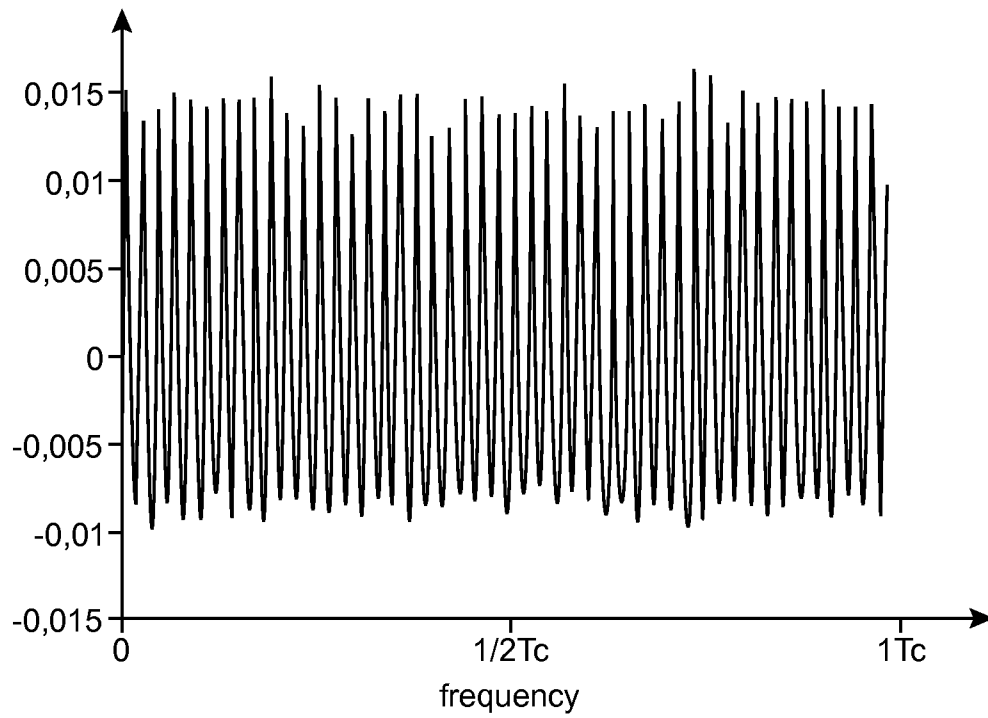


FIG. 4A

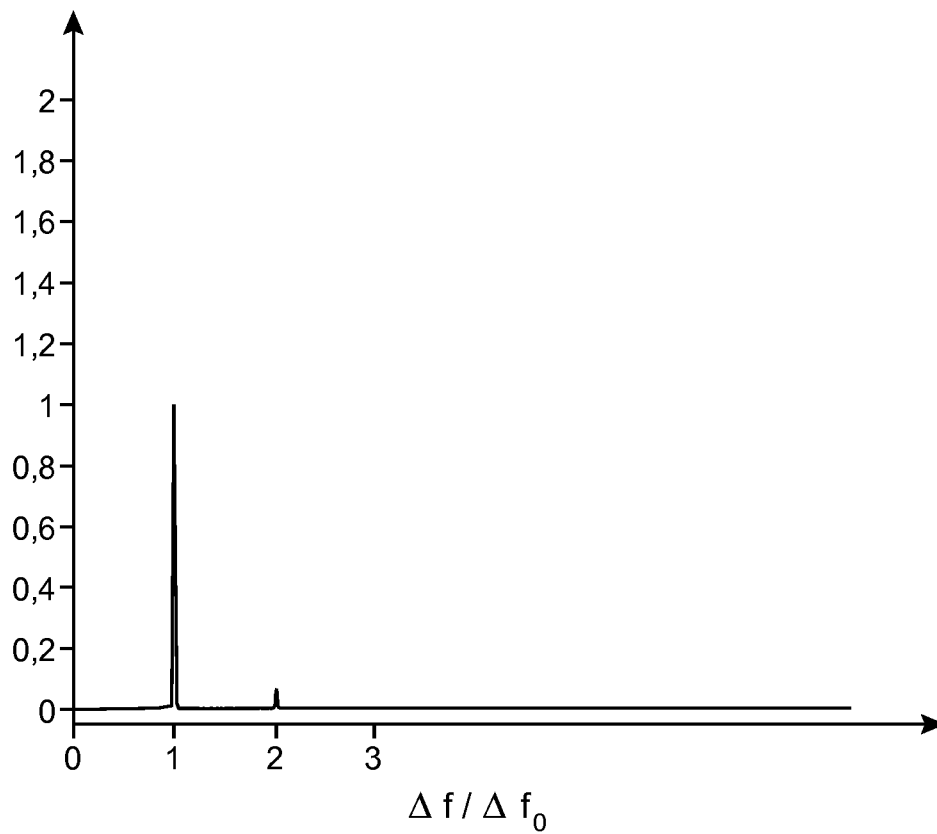


FIG. 4B

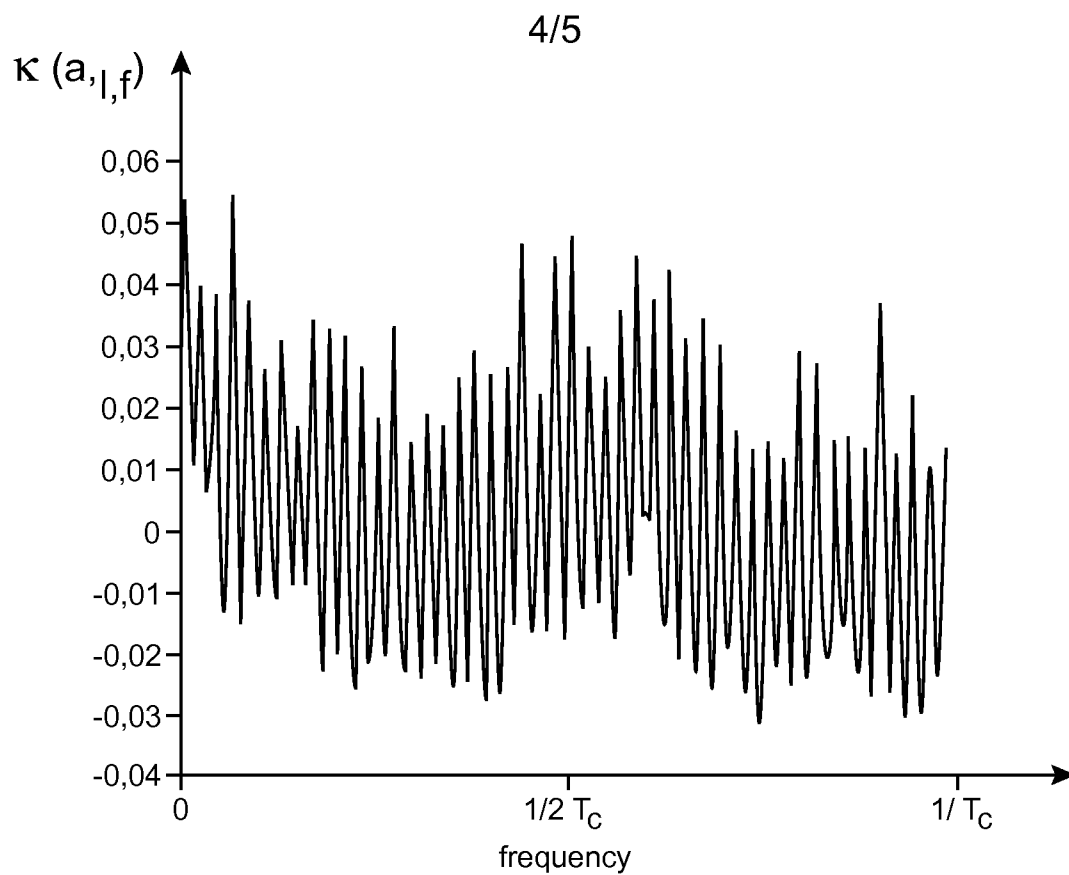


FIG.5A

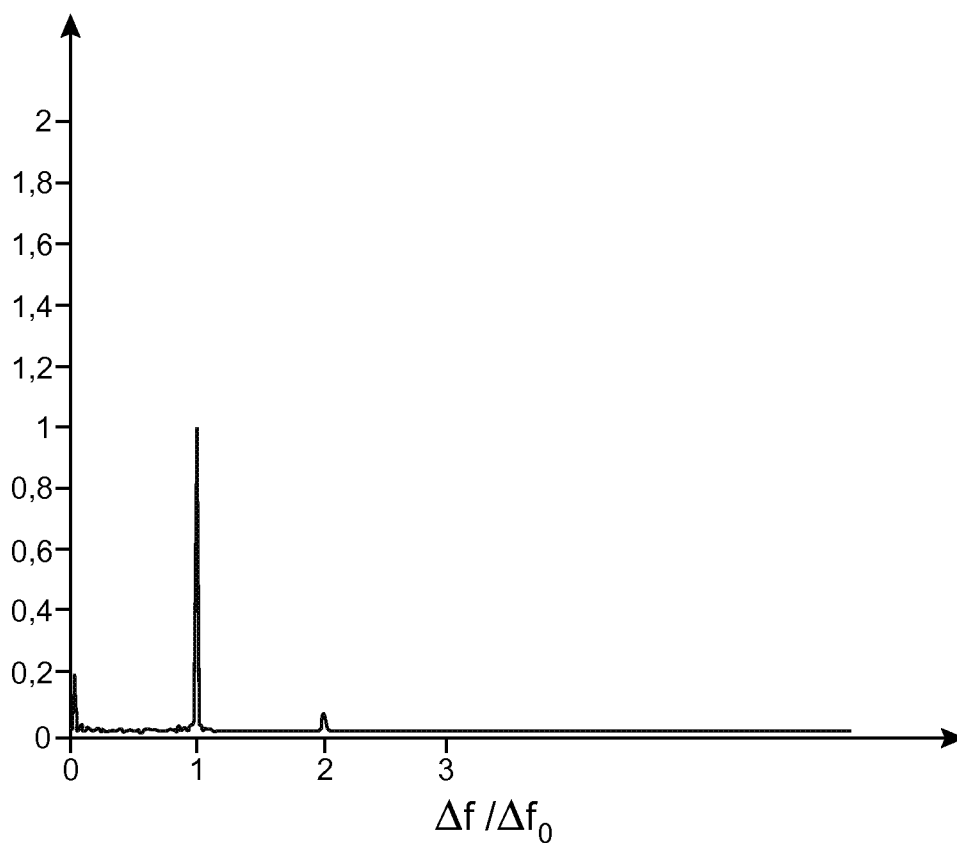


FIG.5B

5/5

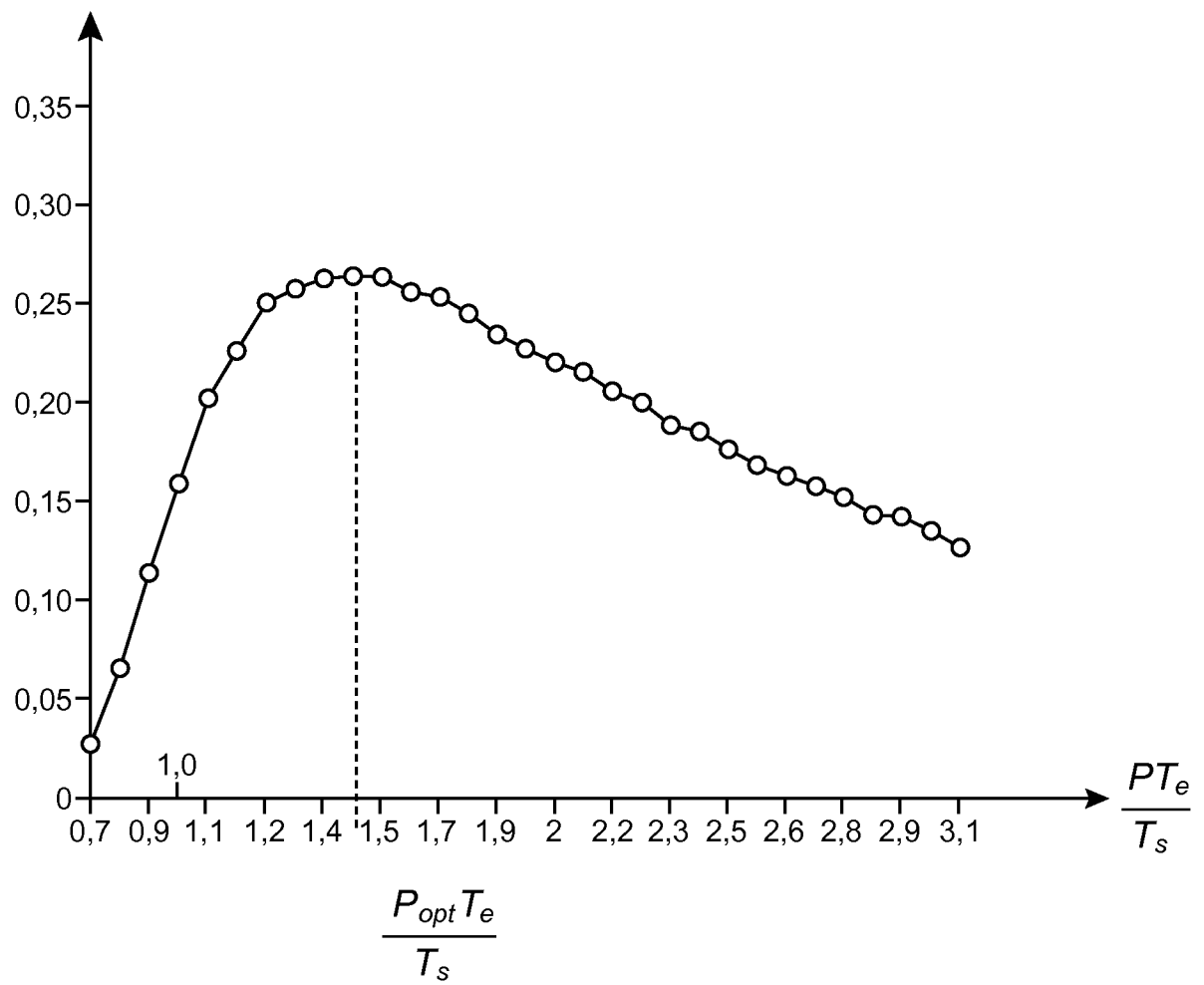


FIG.6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2010/055351

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 practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, COMPENDEX, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	ABDELAZIZ BOUZEGZI ET AL: "A fourth-order algorithm for blind characterization of OFDM signals" IEEE 9TH WORKSHOP ON SIGNAL PROCESSING ADVANCES IN WIRELESS COMMUNICATIONS, 2008 - SPAWC 2008, 6 July 2008 (2008-07-06), pages 411-415, XP031345973 NJ, USA ISBN: 978-1-4244-2045-2 cited in the application abstract Chapitres 1-6 ----- -/--	1-8

☒ 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 document 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

11 May 2010

Date of mailing of the international search report

20/05/2010

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

Dhibi, Youssef

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2010/055351

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	ZHENHUI SHEN ET AL: "Multiple parameters estimation simultaneously for DS-SS/BPSK signal based on fourth-order cumulant 2D slice" IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMMUNICATIONS, CIRCUITS AND SYSTEMS, 2004 - ICCAS 2004., 27 June 2004 (2004-06-27), - 29 June 2009 (2009-06-29) pages 867-870 Vol.2, XP010732043 NJ, USA ISBN: 978-0-7803-8647-1 abstract Chapitres I-V figure 3	1-8
A	AKMOUCHE W: "Detection of multicarrier modulations using 4th-order cumulants" IEEE MILITARY COMMUNICATIONS CONFERENCE PROCEEDINGS - MILCOM 1999, vol. 1, 31 October 1999 (1999-10-31), - 3 November 1999 (1999-11-03) pages 432-436, XP010369572 NJ, USA ISBN: 978-0-7803-5538-5 abstract Chapitres 1-5	1-8
A	XIANGHONG TANG ET AL: "Identification of Wavelet Modulation Based on Gaussian Detection and Kurtosis of Power Spectrum" IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMMUNICATIONS AND MOBILE COMPUTING - CMC '09, 6 January 2009 (2009-01-06), pages 181-185, XP031434650 NJ, USA ISBN: 978-0-7695-3501-2 abstract Chapitres 1-5	1-8
A	US 5 515 300 A (PIERCE ROBERT D [US]) 7 May 1996 (1996-05-07) abstract column 10 - column 12	1-8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2010/055351

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5515300	A	07-05-1996	NONE

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2010/055351

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, COMPENDEX, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	ABDELAZIZ BOUZEGZI ET AL: "A fourth-order algorithm for blind characterization of OFDM signals" IEEE 9TH WORKSHOP ON SIGNAL PROCESSING ADVANCES IN WIRELESS COMMUNICATIONS, 2008 - SPAWC 2008, 6 juillet 2008 (2008-07-06), pages 411-415, XP031345973 NJ, USA ISBN: 978-1-4244-2045-2 cité dans la demande abrégé Chapitres 1-6 ----- -/--	1-8

☒ 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

11 mai 2010

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

20/05/2010

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

Dhibi, Youssef

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2010/055351

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	ZHENHUI SHEN ET AL: "Multiple parameters estimation simultaneously for DS-SS/BPSK signal based on fourth-order cumulant 2D slice" IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMMUNICATIONS, CIRCUITS AND SYSTEMS, 2004 - ICCAS 2004., 27 juin 2004 (2004-06-27), - 29 juin 2009 (2009-06-29) pages 867-870Vol.2, XP010732043 NJ, USA ISBN: 978-0-7803-8647-1 abrégé Chapitres I-V figure 3	1-8
A	AKMOUCHE W: "Detection of multicarrier modulations using 4th-order cumulants" IEEE MILITARY COMMUNICATIONS CONFERENCE PROCEEDINGS - MILCOM 1999, vol. 1, 31 octobre 1999 (1999-10-31), - 3 novembre 1999 (1999-11-03) pages 432-436, XP010369572 NJ, USA ISBN: 978-0-7803-5538-5 abrégé Chapitres 1-5	1-8
A	XIANGHONG TANG ET AL: "Identification of Wavelet Modulation Based on Gaussian Detection and Kurtosis of Power Spectrum" IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMMUNICATIONS AND MOBILE COMPUTING - CMC '09, 6 janvier 2009 (2009-01-06), pages 181-185, XP031434650 NJ, USA ISBN: 978-0-7695-3501-2 abrégé Chapitres 1-5	1-8
A	US 5 515 300 A (PIERCE ROBERT D [US]) 7 mai 1996 (1996-05-07) abrégé colonne 10 - colonne 12	1-8

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2010/055351

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 5515300	A	07-05-1996	AUCUN