

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

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
18 mai 2006 (18.05.2006)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2006/051242 A2

(51) Classification internationale des brevets :
G06F 17/14 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2005/050945

(22) Date de dépôt international :
14 novembre 2005 (14.11.2005)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
04/52613 12 novembre 2004 (12.11.2004) FR

(71) Déposant (*pour tous les États désignés sauf US*) :
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE [FR/FR]; 3, Rue Michel Ange, F-75794 PARIS
CEDEX 16 (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (*pour US seulement*) : **MARTIN, Nadine** [FR/FR]; 158, Le Paillet, F-38360 NOYAREY (FR). **LEJEUNE, Gérard** [FR/FR]; Les Prés, F-38660 SAINTIE MARIE DU MONT (FR). **DURNERIN, Matthieu** [FR/FR]; 17, Rue des Pavillons, F-92800 PUTEAUX (FR). **MAILHES, Corinne** [FR/FR]; 33, Rue Jean Micoud, F-31500 TOULOUSE (FR).

(74) Mandataire : **DE BEAUMONT, Michel**; CABINET
BEAUMONT, 1, Rue Champollion, F-38000 GRENOBLE
(FR).

(81) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible*) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, 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, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

— *sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport*

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

(54) Title: METHOD FOR AUTOMATIC IDENTIFICATION OF SPECTRAL COMPONENTS OF A SIGNAL

(54) Titre : PROCEDE D'IDENTIFICATION AUTOMATIQUE DE COMPOSANTES SPECTRALES D'UN SIGNAL

(57) Abstract: The invention relates to a method for automatic identification of the spectral components of a signal, comprising the following stages: application of a predetermined plurality N of distinct transformations to the signal in order to provide N signal spectra; automatic detection in each spectrum of all of the peaks which are not a priori associated with the noise spectrum present in the signal; association of a spectral map to each peak, said map containing a set of attributes including adjusted frequency, frequency interval, at least one adjustment error, false alarm probability; deduction of a spectral hypothesis such as pure frequency, double non-resolved frequency, multiple frequencies, narrow band; provision of a corresponding digital code; comparison in different spectra of the codes of the peaks belonging to a same frequency interval and indication of the most probable hypothesis.

(57) Abrégé : L'invention concerne un procédé d'identification automatique de composantes spectrales d'un signal, comprenant les étapes suivantes : appliquer au signal une pluralité prédéterminée, N, de transformations distinctes pour fournir N spectres du signal ; détecter automatiquement, dans chaque spectre, tous les pics n'étant pas a priori associés au spectre du bruit présent dans le signal ; associer à chaque pic une carte spectrale contenant un ensemble d'attributs incluant notamment : - une fréquence ajustée, - un intervalle de fréquence, - au moins une erreur d'ajustement, - une probabilité de fausse alarme, en déduire une hypothèse spectrale telle que fréquence pure, fréquence double non résolue, fréquences multiples, bande étroite, et fournir un code numérique correspondant ; et comparer dans les différents spectres les codes des pics appartenant à un même intervalle de fréquence et indiquer l'hypothèse la plus probable.

WO 2006/051242 A2

**PROCEDE D'IDENTIFICATION AUTOMATIQUE DE COMPOSANTES SPECTRALES
D'UN SIGNAL**

Domaine de l'invention

La présente invention concerne un procédé d'analyse des composantes spectrales d'un signal conduisant à une identification de ces composantes.

5 Exposé de l'art antérieur

De façon classique, quand on veut déterminer les composantes spectrales d'un signal, on lui applique une transformation de type transformée de Fourier discrète avec divers types de fenêtrage et diverses segmentations et recouvrements de segments. En d'autres termes, on lui applique divers estimateurs de densité spectrale de puissance. On peut par exemple appliquer le procédé WOSA proposé par Welch qui sera appelé procédé de Welch-WOSA. On pourra aussi utiliser un estimateur de type corrélogramme (autocorrélation biaisée), ou encore un estimateur de type Blackman-Tukey ou un estimateur de Stuse, tel que proposé par Mathews. Dans ces estimateurs, on choisira divers modes de fenêtrage, parmi lesquels on peut par exemple mentionner les fenêtres de Blackman et de Hanning.

Des exemples de tels estimateurs et de tels modes de fenêtrage ainsi que d'autres pourront par exemple se trouver dans les documents suivants.

- DURNERIN Matthieu - Une stratégie pour l'interprétation en analyse spectrale. Détection et caractérisation des composantes d'un spectre. Thèse de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, 21 septembre 1999.

5 - MATHEWS V.J., D.H. HOUN, N. AHMED - A unified approach to non parametric spectrum estimation algorithm. IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing, Vol. 35, p. 338-349, mars 1987.

10 - HARRIS F.J. - On the use of windows for harmonic analysis with the discrete Fourier transform. Proceedings of the IEEE, Vol. 66, n°1, janvier 1978.

- NUTTAL A.H. - Some windows with very good sidelobe behavior. IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing, Vol. 29, n°1, février 1981.

15 Une fois un spectre obtenu par l'un ou l'autre de ces procédés, on utilise diverses méthodes de traitement pour notamment estimer le bruit de fond et pour ajuster les pics de fréquence en tenant compte du fenêtrage utilisé.

20 On se retrouve alors avec un spectre relativement lisible mais il reste encore, au moins pour certains pics, de nombreuses incertitudes à lever.

25 La levée des ambiguïtés nécessite une analyse fine du spectre par un utilisateur expérimenté qui doit faire diverses hypothèses et éventuellement affiner les paramètres de l'estimateur en fonction de son expérience.

Un inconvénient de ces procédés classiques est qu'ils nécessitent l'intervention d'un utilisateur expérimenté et qu'ils ne sont pas automatisables.

Résumé de l'invention

30 Un objet de la présente invention est de prévoir un procédé de détermination automatique des caractéristiques du spectre d'un signal.

Un autre objet de la présente invention est de prévoir un tel procédé adapté à un utilisateur non spécialisé.

Un autre objet de la présente invention est de prévoir un tel procédé réalisable par une machine automatique commandée par un programme.

Pour atteindre ces objets ainsi que d'autres, la présente invention prévoit un procédé d'identification automatique de composantes spectrales d'un signal, comprenant les étapes suivantes :

appliquer au signal une pluralité prédéterminée, N, de transformations distinctes pour fournir N spectres du signal ;

détecter automatiquement, dans chaque spectre, tous les pics n'étant pas a priori associés au spectre du bruit présent dans le signal ;

associer à chaque pic une carte spectrale contenant un ensemble d'attributs incluant notamment :

- une fréquence ajustée,
- un intervalle de fréquence,
- au moins une erreur d'ajustement,
- une probabilité de fausse alarme,

en déduire une hypothèse spectrale telle que fréquence pure, fréquence double non résolue, fréquences multiples, bande étroite, et fournir un code numérique correspondant ; et

comparer dans les différents spectres les codes des pics appartenant à un même intervalle de fréquence et indiquer l'hypothèse la plus probable.

Selon un mode de réalisation de la présente invention, le procédé comprend en outre les étapes suivantes :

afficher les N spectres ; et, dans chaque spectre :

- marquer chaque pic d'un premier symbole indiquant sa probabilité de fausse alarme, et
- marquer chaque pic d'un deuxième symbole indiquant la ou l'ensemble des hypothèses spectrales retenues pour ce pic.

Selon un mode de réalisation de la présente invention, le premier symbole correspond à une coloration de chaque pic selon l'une de plusieurs couleurs caractérisant divers seuils de probabilité de fausse alarme et le deuxième symbole correspond à

une tache de couleur placée sous chaque pic et correspondant à une hypothèse spectrale.

Selon un mode de réalisation de la présente invention, la fréquence ajustée est déterminée en faisant correspondre à un pic mesuré la fenêtre correspondant à l'estimateur considéré, cet ajustement étant fait pour minimiser l'erreur quadratique totale et l'erreur quadratique à 3dB entre le pic et la fenêtre, cette erreur quadratique totale et cette erreur quadratique à 3dB étant ensuite utilisées avec la probabilité de fausse alarme pour déterminer l'hypothèse spectrale.

Selon un mode de réalisation de la présente invention, l'hypothèse spectrale est obtenue en fonction des erreurs e_{tot} , $e_{-3\text{dB}}$ et de la probabilité P_{fa} , les erreurs e_{tot} et $e_{-3\text{dB}}$ constituant les coordonnées d'un point P_e , à partir du tableau suivant :

Région d'appartenance du point P_e	$P_{\text{fa}_{\text{detect}}} = 10^{-3}$ ou 10^{-4}		$P_{\text{fa}_{\text{detect}}} = 10^{-5}$ ou 10^{-6}	
	Hypothèse spectrale	Code	Hypothèse spectrale	Code
$T_{\text{FP}} \leq 0$	FP	0	FP	0
$T_{\text{FP}} > 0$ et $T_{\text{in}} \leq 0$ et $T_{\text{B}} \leq 0$	FP & B	1	2FP	1
$T_{\text{in}} > 0$ et $T_{\text{BE}} \leq 0$ et $T_{\text{B}} \leq 0$	FP ou B	2	nFP ou BE	2
$T_{\text{BE}} > 0$ et $T_{\text{B}} \leq 0$	B	3	nFP ou BE	3
$T_{\text{B}} > 0$			Alarme	

où :

FP : fréquence pure

2FP : fréquence pure avec une fréquence pure non résolue d'amplitude inférieure située à une fréquence proche du maximum du pic

FP & B : fréquence pure dont le bruit d'estimation perturbe les points en pied de pic

B : bruit

nFP : plusieurs fréquences pures non résolues

5 BE : bande étroite,

T_{FP} , T_{BE} , T_B et T_{in} étant des expressions de forme $a.e_{tot}+b.e_{-3dB}+c$, les paramètres a , b , c étant définis à partir de simulations de Monte Carlo,

10 - des simulations de Monte Carlo réalisées pour une fréquence pure, quelle que soit la valeur de cette fréquence, déterminant la région dans le plan (e_{tot}, e_{-3dB}) caractéristique de la classe FP, l'équation $T_{FP}=0$ étant celle d'une droite limite supérieure de cette classe pour un rapport signal sur bruit égal à 0 dB ;

15 - des simulations de Monte Carlo réalisées pour une bande étroite déterminant la région dans le plan (e_{tot}, e_{-3dB}) caractéristique de la classe BE, l'équation $T_{BE}=0$ étant celle d'une droite limite inférieure de cette classe pour un rapport signal sur bruit égal à 0 dB ;

20 - les deux simulations précédentes déterminant la région dans le plan (e_{tot}, e_{-3dB}) caractéristique de la classe B. L'équation $T_B=0$ étant celle d'une droite limite inférieure de cette classe ;

25 - pour un rapport signal sur bruit égal à -15 dB, les simulations de Monte Carlo réalisées pour une fréquence pure et une bande étroite déterminant deux régions disjointes, l'équation $T_{in}=0$ étant celle d'une droite qui sépare ces deux régions.

La présente invention vise aussi un programme d'ordinateur destiné à la mise en oeuvre du procédé ci-dessus.

30 Brève description des dessins

Ces objets, caractéristiques et avantages, ainsi que d'autres de la présente invention seront exposés en détail dans la description suivante de modes de réalisation particuliers faite à titre non-limitatif en relation avec les figures jointes
35 parmi lesquelles :

les figures 1A, 1B et 1C représentent respectivement un exemple de signal, et deux exemples de spectre traité ;

la figure 2 représente la superposition sur un pic spectral observé d'une fenêtre spectrale ;

5 la figure 3 représente un exemple de spectre interprété selon la présente invention ;

la figure 4 représente un exemple de cinq spectres d'un même signal déterminés par cinq estimateurs différents et interprétés selon la présente invention.

10 Description détaillée

Les figures 1A, 1B et 1C sont destinées à illustrer le problème que la présente invention vise à résoudre.

A partir d'un signal contenant de très nombreuses informations et du bruit tel qu'illustré en figure 1A, on détermine le spectre de ce signal par un estimateur de densité spectrale de puissance. Un tel estimateur est basé sur une transformée de Fourier discrète et utilise un fenêtrage particulier, une segmentation particulière, et un recouvrement particulier de segments dans la fenêtre.

20 Les figures 1B et 1C représentent une partie du spectre en fréquence (entre 40 et 80 hertz) obtenu par deux estimateurs différents.

On procède à diverses étapes de traitement pour mieux distinguer les pics fréquentiels et les extraire partiellement du bruit. Le résultat de tels traitements est illustré, à titre d'exemple, en figures 1B et 1C où les courbes 1 représentent le niveau moyen du fond de bruit en fonction de la fréquence et les courbes 2 le spectre sur lequel les pics relatifs aux composantes spectrales du signal sont représentés en trait plus clairs.

30 On voit qu'il est très difficile à partir d'un tel spectre de déterminer par exemple si un pic correspond à une fréquence pure, à deux ou plusieurs fréquences voisines non résolues, à un spectre en bande étroite correspondant à une oscillation amortie, à un autre type de phénomène ondulatoire, 35 ou à une superposition de l'un ou l'autre de ces phénomènes

ondulatoires et de bruit. Ainsi, de façon classique, on fait appel à l'expérience de l'utilisateur pour prendre des décisions, et éventuellement pour affiner, pour chaque pic, les étapes de traitement et/ou pour décider de modifier les paramètres de la transformée de Fourier pour obtenir un autre spectre susceptible de lever certaines ambiguïtés.

La présente invention vise à résoudre ce problème d'identification fréquentielle par un procédé automatique, pouvant être mis en oeuvre par un programme informatique, sans faire appel à l'expérience d'un utilisateur. Pour cela, la présente invention propose :

- la réalisation systématique de plusieurs spectres d'un même signal par des estimateurs différents ;
- un mode de classification particulier de chaque pic de chaque spectre ;
- une comparaison automatique des pics des divers spectres ;
- la fourniture de résultats exploitables par un utilisateur non spécialisé.

A titre d'exemple, on réalisera cinq spectres d'un même signal successivement par les cinq combinaisons suivantes d'estimateurs et de fenêtres :

- 1) estimateur de type corrélogramme (autocorrélation biaisée) - fenêtre linéaire de Blackman,
- 2) estimateur de Welch-WOSA - fenêtre quadratique de Blackman,
- 3) estimateur de Welch-WOSA - fenêtre quadratique de Hanning,
- 4) estimateur de Blackman-Tukey - fenêtre linéaire de Blackman,
- 5) estimateur de Blackman-Tukey - fenêtre linéaire de Hanning.

Sur chaque spectre, on extrait des pics n'étant pas a priori associés au spectre du bruit présent dans le signal, par exemple le 116-ième pic d'un spectre C1 désigné dans la figure par la référence 10, à un ajustement entre ce pic 10 et une fenêtre spectrale 11 de l'estimateur ajustée sur le pic. Cette fenêtre spectrale correspond à la "fonction d'appareil" de l'estimateur considéré, c'est-à-dire à l'allure qu'aurait de façon idéale un pic correspondant au spectre d'une fréquence

pure pour l'estimateur considéré. Cet ajustement et la détermination de paramètres correspondants peuvent être effectués de façon automatique (voir par exemple la thèse de Matthieu DURNERIN citée précédemment).

- 5 Ensuite, on associe à chaque pic une "carte spectrale", c'est-à-dire un ensemble d'attributs correspondant par exemple à la dernière colonne du tableau I ci-dessous pour le pic illustré en figure 2 :

Tableau I

1	N° pic		C1 P116
2	Fréquence estimée	fe	796,815 Hz
3	Amplitude estimée	Ae	0,3979
4	Fréquence ajustée	fa	796,8155 Hz
5	Amplitude ajustée	Aa	0,397907
6	Erreur quad. totale	e _{tot}	0,1374
7	Erreur quad. -3dB	e _{-3dB}	0,0092
8	SNR local	SNR	24,6042 dB
9	Alarme fond	Al	Faux
10	Classe détection		5
11	Hypothèse spectrale	Hsp	2FP ou (FP & BE)
12	I (C1P116) = 796,8155 ± 0,0421 Hz		

- 10 Parmi ces attributs, on note, dans cet exemple :
1. un numéro d'ordre (P116) affecté dans un spectre donné (C1) à un pic donné - on notera que l'on ne peut pas faire correspondre deux pics de deux spectres différents par leur numéro d'ordre étant donné que certains pics peuvent apparaître dans
 - 15 certains spectres et pas dans d'autres ;
 2. la fréquence estimée (fe) du pic telle qu'on la lit sur le spectre ;
 3. l'amplitude estimée (Ae) du pic telle qu'on la lit sur le spectre ;
 - 20 4. la fréquence ajustée (fa) qui résulte de la mise en correspondance du pic et d'une fenêtre spectrale de l'estimateur ajustée sur le pic ;

5. l'amplitude ajustée (A_a) pour la fréquence ajustée ;
6. l'erreur quadratique totale (e_{tot}) qui caractérise l'écart en surface entre le pic et la fenêtre spectrale de l'estimateur ajustée sur le pic ;
- 5 7. l'erreur quadratique à -3 db (e_{-3dB}) qui caractérise l'écart à mi-hauteur entre le pic et la fenêtre spectrale ;
8. le rapport signal/bruit (SNR) qui caractérise le bruit de fond au niveau du pic ;
9. une alarme fond (Al) qui permet par des procédés statistiques
- 10 de déterminer si la zone dans laquelle le pic est observé correspond à une zone visiblement erronée ou non ;
10. la classe de détection qui est calculée en fonction d'une probabilité de fausse alarme minimale qui permet la détection du pic ; la classe de détection est le résultat d'un test
- 15 résultant d'une comparaison avec un seuil fixé par le critère de Neyman Pearson ;
11. une hypothèse spectrale (H_{sp}) déterminée automatiquement en fonction de certains de ces paramètres, de la façon exposée ci-après ;
- 20 12. enfin, en bas du tableau, on a indiqué la fréquence ajustée et la plage d'erreur possible autour de cette fréquence qui correspond à la bande à -3db de la fenêtre spectrale (résolution fréquentielle de l'estimateur).

e_{tot} et e_{-3dB} constituent des erreurs d'ajustement

25 entre le pic considéré et la fenêtre spectrale. D'autres choix et définitions d'erreurs pourraient être adoptés.

La probabilité de fausse alarme (P_{fa}) est la probabilité pour qu'un maximum du spectre soit un pic correspondant à un phénomène physique et non un pic de bruit. Dans un système de

30 détection basé sur le critère de Neyman-Pearson, la P_{fa} est fixée à priori. Si la P_{fa} est fixée à une valeur très faible (par exemple de l'ordre de 10^{-6}), les pics détectés sont ceux qui se détachent nettement du bruit de fond c'est-à-dire dont le rapport signal/bruit (SNR) est élevé. Inversement, quand on

35 choisit une P_{fa} forte (par exemple de l'ordre de 10^{-3}), on

détectera aussi les pics de faible rapport signal/bruit. On prévoit selon l'invention d'effectuer la détection pour plusieurs choix de valeurs de Pfa (par exemple, 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6}). La plus faible valeur de Pfa qui permet de détecter un pic est une information importante puisqu'elle fournit une indication sur le niveau du rapport signal/bruit local de ce pic. Cette Pfa est appelée Pfa_{detect} . On appelle ici classe de détection l'exposant de Pfa_{detect} . On aura donc quatre classes de détection possibles : 3, 4, 5, 6 pour les quatre valeurs de Pfa_{detect} retenues : 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6} .

Certains des attributs listés ci-dessus sont seulement des valeurs intermédiaires destinées à calculer d'autres paramètres. De plus, d'autres attributs pourraient être mesurés ou calculés, par exemple pour fournir des alarmes supplémentaires ou alternatives.

L'hypothèse spectrale pour le pic considéré est déterminée automatiquement en fonction d'au moins certains de ces paramètres, et notamment des paramètres classe de détection, erreur totale et erreur à -3dB, comme l'indique le tableau II ci-dessous (les erreurs e_{tot} et $e_{-3\text{dB}}$ constituant les coordonnées d'un point Pe):

Région d'appartenance du point Pe	Pfa _{detect} = 10 ⁻³ ou 10 ⁻⁴		Pfa _{detect} = 10 ⁻⁵ ou 10 ⁻⁶	
	Hypothèse spectrale	Code	Hypothèse spectrale	Code
$T_{FP} \leq 0$	FP	0	FP	0
$T_{FP} > 0$ et $T_{in} \leq 0$ et $T_B \leq 0$	FP & B	1	2FP	1
$T_{in} > 0$ et $T_{BE} \leq 0$ et $T_B \leq 0$	FP ou B	2	nFP ou BE	2
$T_{BE} > 0$ et $T_B \leq 0$	B	3	nFP ou BE	3
$T_B > 0$			Alarme	

où :

FP : fréquence pure

2FP : fréquence pure avec une fréquence pure non résolue
d'amplitude inférieure située à une fréquence proche
du maximum du pic

FP & B : fréquence pure dont le bruit d'estimation perturbe
les points en pied de pic

B : bruit

nFP : plusieurs fréquences pures non résolues

BE : bande étroite,

T_{FP} , T_{BE} , T_B et T_{in} étant des expressions de forme $a \cdot e_{tot} + b \cdot e_{-3dB} + c$,
les paramètres a , b , c étant définis à partir de
simulations de Monte Carlo,

- des simulations de Monte Carlo réalisées pour une fréquence
pure, quelle que soit la valeur de cette fréquence, détermi-
nant la région dans le plan (e_{tot}, e_{-3dB}) caractéristique de la
classe FP, l'équation $T_{FP}=0$ étant celle d'une droite limite
supérieure de cette classe pour un rapport signal sur bruit
égal à 0 dB ;

- des simulations de Monte Carlo réalisées pour une bande étroite déterminant la région dans le plan $(e_{\text{tot}}, e_{-3\text{dB}})$ caractéristique de la classe BE, l'équation $T_{\text{BE}}=0$ étant celle d'une droite limite inférieure de cette classe pour un rapport signal sur bruit égal à 0 dB ;
- les deux simulations précédentes déterminant la région dans le plan $(e_{\text{tot}}, e_{-3\text{dB}})$ caractéristique de la classe B. L'équation $T_{\text{B}}=0$ étant celle d'une droite limite inférieure de cette classe ;
- pour un rapport signal sur bruit égal à -15 dB, les simulations de Monte Carlo réalisées pour une fréquence pure et une bande étroite déterminant deux régions disjointes, l'équation $T_{\text{in}}=0$ étant celle d'une droite qui sépare ces deux régions.

La première ligne du tableau II indique que, si le pic défini par le point Pe est dans le demi-plan d'équation $T_{\text{FP}} \leq 0$, on a une fréquence pure à la résolution de l'estimateur. La troisième ligne du tableau indique que, si le point Pe est dans la région définie par le système des 3 inéquations $T_{\text{FP}} > 0$ et $T_{\text{in}} \leq 0$ et $T_{\text{B}} \leq 0$, on a, dans le cas où la probabilité de fausse alarme est forte ($P_{\text{fa}} = 10^{-3}$ ou 10^{-4}), soit une fréquence pure soit du bruit, et, dans le cas où la probabilité de fausse alarme est faible ($P_{\text{fa}} = 10^{-5}$ ou 10^{-6}), on a n fréquences pures ou une bande étroite. On a donc dans la deuxième colonne un doute entre les hypothèses spectrales FP et B et dans la troisième colonne un doute entre l'hypothèse FP et les hypothèses correspondant à des pics de largeur spectrale plus grande (BE, 2FP et nFP). Les autres lignes du tableau se comprennent bien à partir des explications précédentes.

On peut donner à l'utilisateur un premier résultat, à partir d'un pic d'un seul spectre. Ce résultat est par exemple fourni à l'utilisateur de la façon représentée en figure 3. Dans cette figure, on a retenu dans le spectre, entre les fréquences 225 Hz et 237 Hz, cinq pics P1 à P5, à environ 225,5 Hz, 228,9 Hz, 229,7 Hz, 230,5 Hz et 234,3 Hz.

Afin de mieux faire ressortir ces résultats, bien que cela ne soit pas visible dans la figure en noir et blanc, on colore de préférence chacun des pics P1, P2, P3, P4, P5 d'une couleur correspondant à la valeur de sa classe de détection (par exemple une couleur plus foncée chaque fois que la probabilité de fausse alarme est faible). En outre, on a indiqué par une bande colorée sous chaque pic, l'hypothèse spectrale obtenue, c'est-à-dire la correspondance de la case du tableau II.

Dans la plupart des cas, il existe une incertitude sur l'hypothèse spectrale d'un pic considéré. Ainsi, comme cela a été indiqué précédemment, selon la présente invention, on aura procédé systématiquement à la réalisation de plusieurs spectres par des estimateurs différents. En comparant, pour les pics se trouvant dans un même intervalle de fréquence, les différentes hypothèses spectrales retenues et leurs probabilité, on pourra par diverses méthodes statistiques éliminer certaines hypothèses et donner une hypothèse la plus probable, avec un coefficient de probabilité.

Une façon de déterminer de façon automatique l'hypothèse à retenir à partir de plusieurs spectres (5 dans l'exemple présenté ici) consiste à attribuer un code à chaque hypothèse spectrale, comme cela est illustré dans le tableau II (dans un spectre où un pic n'apparaît pas, on attribuera un code de valeur plus élevée à ce pic, en distinguant éventuellement une absence de signal de la présence de bruit). L'expérience montre qu'il convient de séparer, comme cela est indiqué dans le tableau II, les deuxième et troisième colonnes (fort Pfa et faible Pfa) de ce tableau. Si pour les cinq spectres considérés, certains résultats figurent dans la colonne 2 du tableau et d'autres dans la colonne 3 de ce tableau, on a observé que cela indique inévitablement la présence d'une erreur dans l'analyse et le traitement initial des cinq spectres et le pic considéré est rejeté. Sinon, un traitement informatique pourra sélectionner, pour chaque colonne l'hypothèse spectrale la plus probable

(le plus souvent l'hypothèse correspondant au code apparaissant le plus souvent dans les cinq spectres).

De plus, à titre informatif, on pourra fournir à l'utilisateur les résultats sous la forme illustrée en figure 4, qui correspond à cinq affichages de spectres obtenus par cinq méthodes différentes et avec des codes de couleur tels qu'indiqués ci-dessus.

L'homme de l'art ayant pris connaissance du procédé exposé ci-dessus, et ayant des connaissances en informatique, pourra réaliser un programme d'ordinateur mettant en oeuvre automatiquement les diverses étapes du procédé énoncées ci-dessus.

Dans les hypothèses spectrales présentées ci-dessus, on a supposé que l'on ne retenait dans les spectres que les pics relativement fins, pouvant correspondre à des fréquences simples, à des couples de fréquences, ou à des petits groupes de fréquences très rapprochés ou à des bandes étroites. Dans ce cas, lors de l'extraction des pics, on éliminera systématiquement les pics ayant une largeur supérieure à un seuil déterminé.

REVENDICATIONS

1. Procédé d'identification automatique de composantes spectrales d'un signal, comprenant les étapes suivantes :

appliquer au signal une pluralité prédéterminée, N, de transformations distinctes pour fournir N spectres du signal ;

5 détecter automatiquement, dans chaque spectre, tous les pics n'étant pas a priori associés au spectre du bruit présent dans le signal ;

associer à chaque pic une carte spectrale contenant un ensemble d'attributs incluant notamment :

- 10
- une fréquence ajustée,
 - un intervalle de fréquence,
 - au moins une erreur d'ajustement,
 - une probabilité de fausse alarme,

en déduire une hypothèse spectrale telle que fréquence pure, fréquence double non résolue, fréquences multiples, bande étroite, et fournir un code numérique correspondant ; et

15

comparer dans les différents spectres les codes des pics appartenant à un même intervalle de fréquence et indiquer l'hypothèse la plus probable.

20 2. Procédé selon la revendication 1, comprenant en outre les étapes suivantes :

afficher les N spectres ; et, dans chaque spectre :

- marquer chaque pic d'un premier symbole indiquant sa probabilité de fausse alarme, et
- 25 - marquer chaque pic d'un deuxième symbole indiquant la ou l'ensemble des hypothèses spectrales retenues pour ce pic.

3. Procédé selon la revendication 2, dans lequel le premier symbole correspond à une coloration de chaque pic selon l'une de plusieurs couleurs caractérisant divers seuils de probabilité de fausse alarme et le deuxième symbole correspond à une tache de couleur placée sous chaque pic et correspondant à une hypothèse spectrale.

30

4. Procédé selon la revendication 1, dans lequel la fréquence ajustée est déterminée en faisant correspondre à un

pic la fenêtre correspondant à la transformation considérée, cette mise en correspondance étant faite pour minimiser l'erreur quadratique totale et l'erreur quadratique à -3dB entre le pic et la fenêtre, cette erreur quadratique totale et cette erreur quadratique à 3dB étant ensuite utilisée avec la probabilité de fausse alarme pour déterminer l'hypothèse spectrale.

5. Procédé selon la revendication 4, dans lequel l'hypothèse spectrale est obtenue en fonction des erreurs e_{tot} , $e_{-3\text{dB}}$ et de la probabilité P_{fa} , les erreurs e_{tot} et $e_{-3\text{dB}}$ constituant les coordonnées d'un point P_e , à partir du tableau suivant :

Région d'appartenance du point P_e	$P_{\text{fa}_{\text{detect}}} = 10^{-3}$ ou 10^{-4}		$P_{\text{fa}_{\text{detect}}} = 10^{-5}$ ou 10^{-6}	
	Hypothèse spectrale	Code	Hypothèse spectrale	Code
$T_{\text{FP}} \leq 0$	FP	0	FP	0
$T_{\text{FP}} > 0$ et $T_{\text{in}} \leq 0$ et $T_{\text{B}} \leq 0$	FP & B	1	2FP	1
$T_{\text{in}} > 0$ et $T_{\text{BE}} \leq 0$ et $T_{\text{B}} \leq 0$	FP ou B	2	nFP ou BE	2
$T_{\text{BE}} > 0$ et $T_{\text{B}} \leq 0$	B	3	nFP ou BE	3
$T_{\text{B}} > 0$			Alarme	

où :

- FP : fréquence pure
- 2FP : fréquence pure avec une fréquence pure non résolue
d'amplitude inférieure située à une fréquence proche
du maximum du pic
- FP & B : fréquence pure dont le bruit d'estimation perturbe
les points en pied de pic
- B : bruit
- nFP : plusieurs fréquences pures non résolues

BE : bande étroite,

T_{FP} , T_{BE} , T_B et T_{in} étant des expressions de forme $a.e_{tot}+b.e_{-3dB}+c$,
les paramètres a , b , c étant définis à partir de
simulations de Monte Carlo,

- 5 - des simulations de Monte Carlo réalisées pour une fréquence pure, quelle que soit la valeur de cette fréquence, déterminant la région dans le plan (e_{tot}, e_{-3dB}) caractéristique de la classe FP, l'équation $T_{FP}=0$ étant celle d'une droite limite supérieure de cette classe pour un rapport signal sur bruit égal à 0 dB ;
- 10 - des simulations de Monte Carlo réalisées pour une bande étroite déterminant la région dans le plan (e_{tot}, e_{-3dB}) caractéristique de la classe BE, l'équation $T_{BE}=0$ étant celle d'une droite limite inférieure de cette classe pour un rapport signal sur bruit égal à 0 dB ;
- 15 - les deux simulations précédentes déterminant la région dans le plan (e_{tot}, e_{-3dB}) caractéristique de la classe B. L'équation $T_B=0$ étant celle d'une droite limite inférieure de cette classe ;
- 20 - pour un rapport signal sur bruit égal à -15 dB, les simulations de Monte Carlo réalisées pour une fréquence pure et une bande étroite déterminant deux régions disjointes, l'équation $T_{in}=0$ étant celle d'une droite qui sépare ces deux régions.

25 6. Programme d'ordinateur destiné à la mise en oeuvre du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5.

1/4

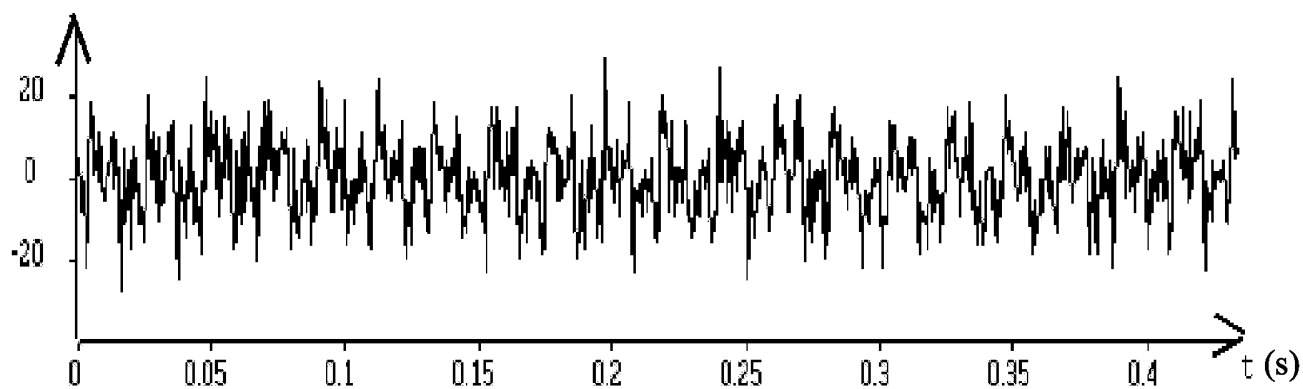


Fig.1A

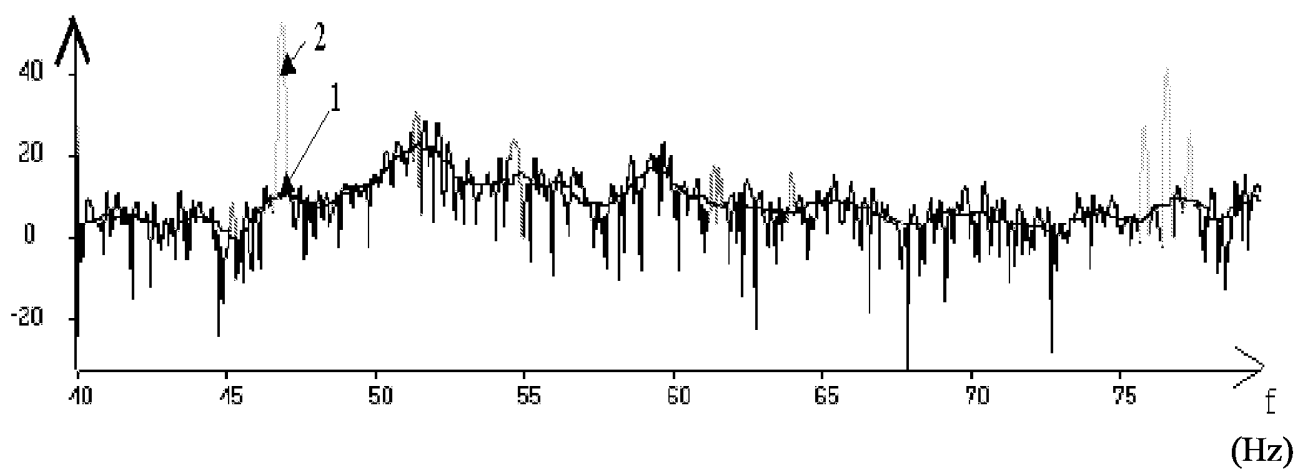


Fig.1B

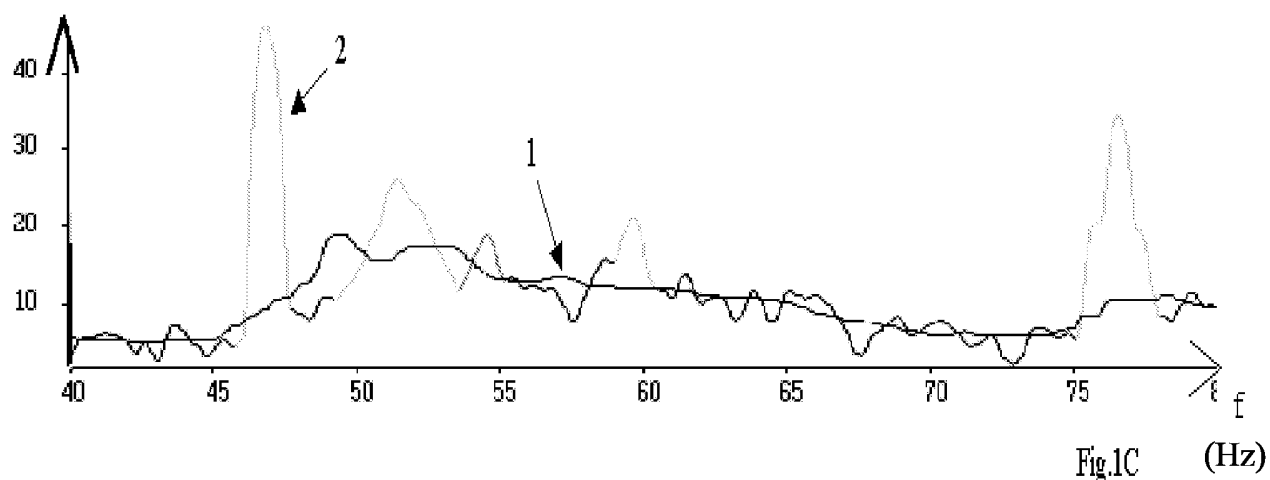


Fig.1C

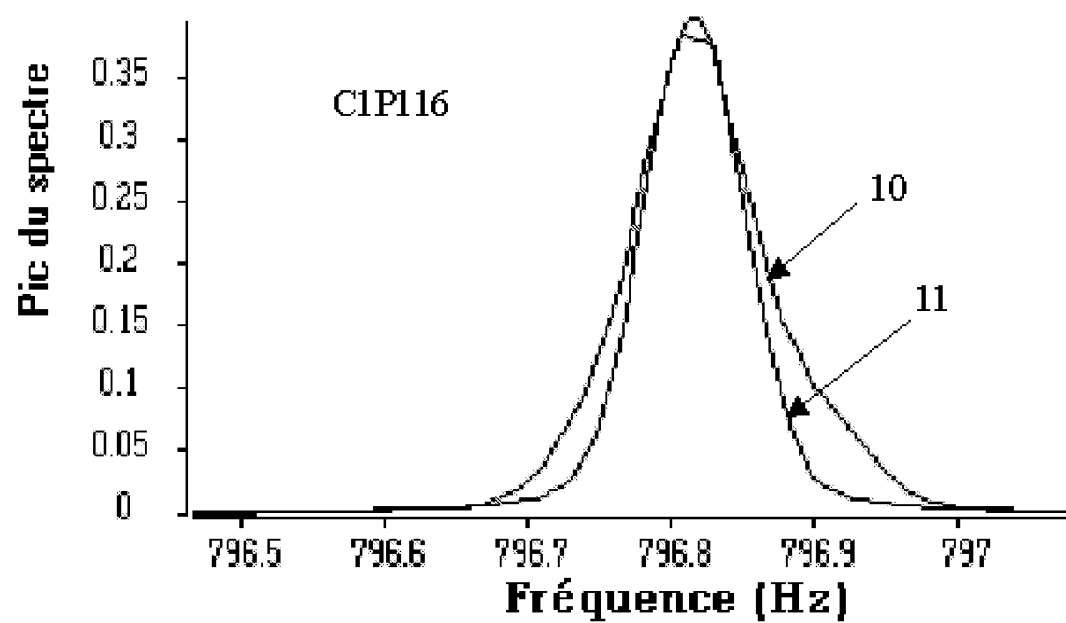


Fig.2

3/4

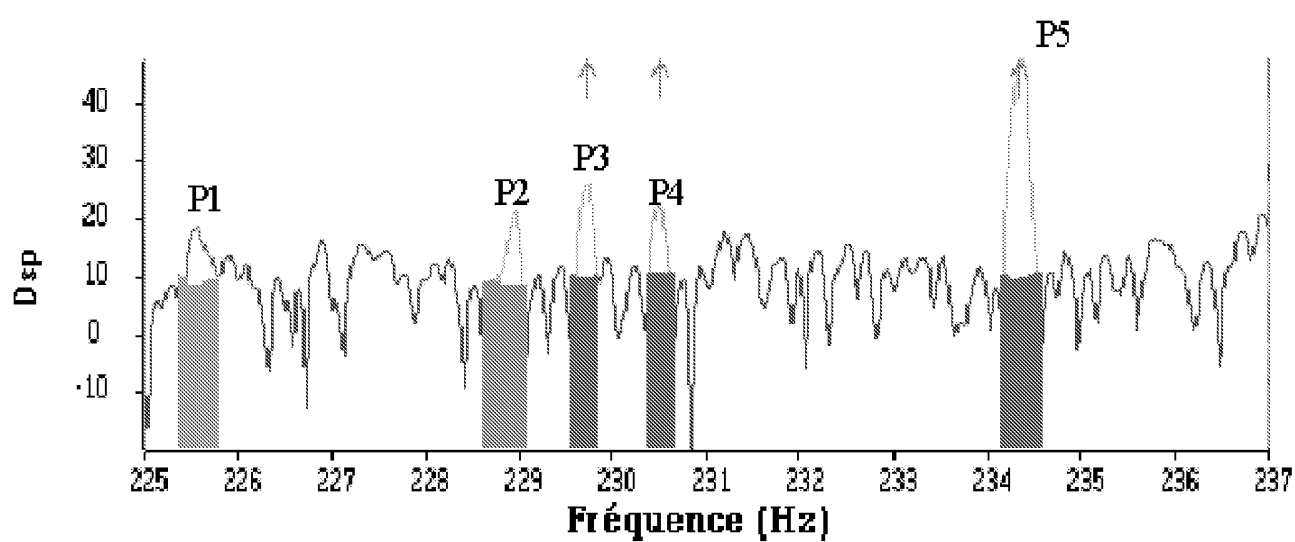


Fig.3

4/4

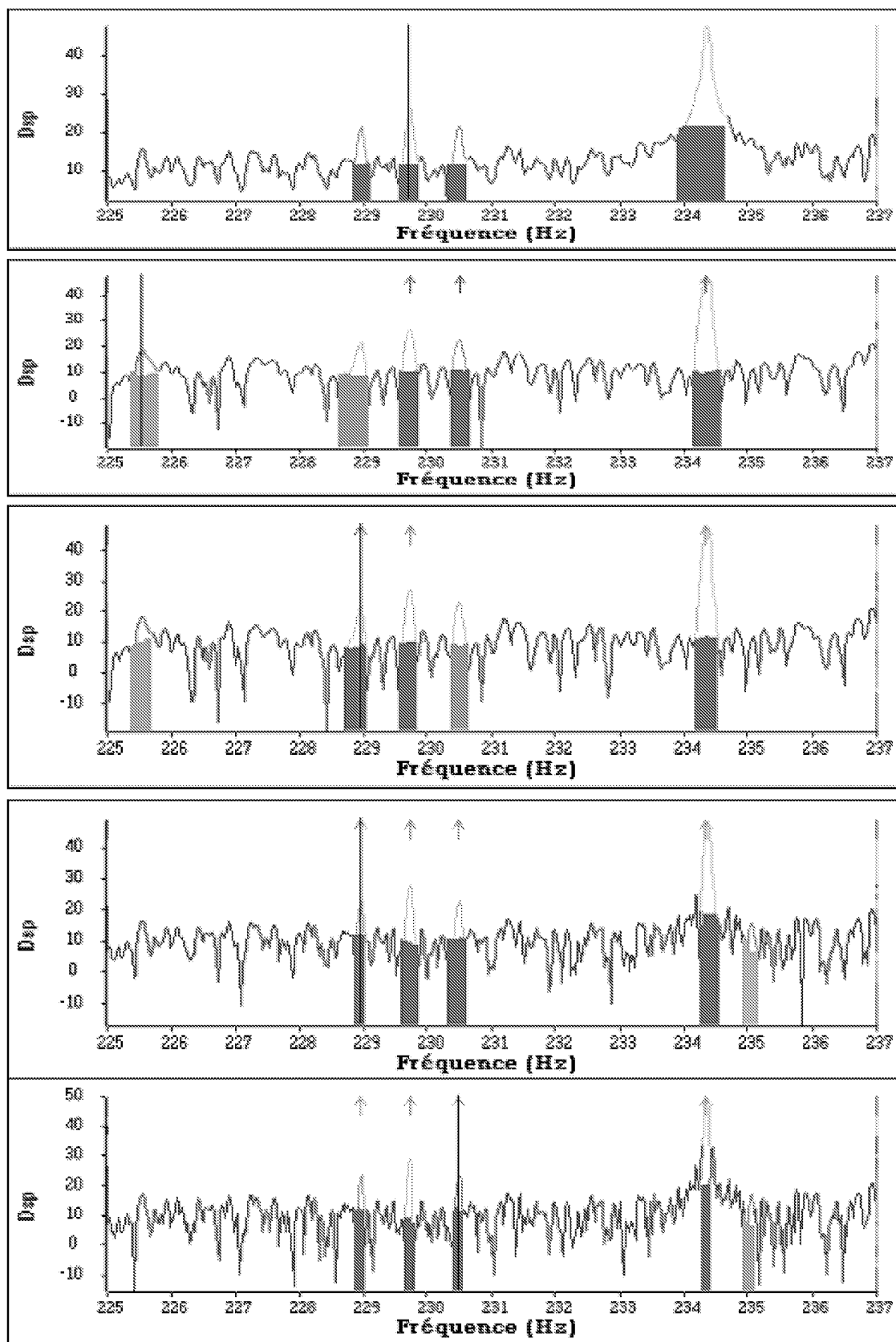


Fig.4