(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) **N° de publication :** **3 000 331**

(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) **N° d'enregistrement national :** **12 62569**

(51) Int Cl[8] : ***H 04 L 1/00*** *(2013.01)*

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) **Date de dépôt :** 21.12.12.

(30) **Priorité :**

(43) **Date de mise à la disposition du public de la demande :** 27.06.14 Bulletin 14/26.

(56) **Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire :** *Se reporter à la fin du présent fascicule*

(60) **Références à d'autres documents nationaux apparentés :**

(71) **Demandeur(s) :** *REFFE NICOLAS* — FR.

(72) **Inventeur(s) :** REFFE NICOLAS.

(73) **Titulaire(s) :** REFFE NICOLAS.

(74) **Mandataire(s) :** CABINET BEAU DE LOMENIE Société civile.

(54) PROCEDE ET DISPOSITIF DE CONVERSION NUMERIQUE D'UN SIGNAL D'ENTREE DERIVE D'UN SIGNAL ELECTRIQUE DELIVRE PAR UNE CHAINE D'ACQUISITION D'UN CAPTEUR.

(57) Procédé et dispositif de conversion numérique d'un signal d'entrée dérivé d'un signal électrique délivré par une chaîne d'acquisition d'un capteur

Le procédé comprend une étape (E30) de décomposition du signal d'entrée sur une base de décomposition complète comprenant K+1 éléments de décomposition résultant en la détermination de composantes associées à chaque élément de la base, une étape (E40) d'élaboration d'un signal de sortie à partir de tout ou partie de ces composantes, et une étape (E50) de fourniture du signal de sortie à un dispositif de traitement, dans lequel les K+1 éléments w_k,k = 0, ..., K, de la base de décomposition ont des fréquences fondamentales $f(W_k)$ définies par:

$f(W_0) = \alpha$

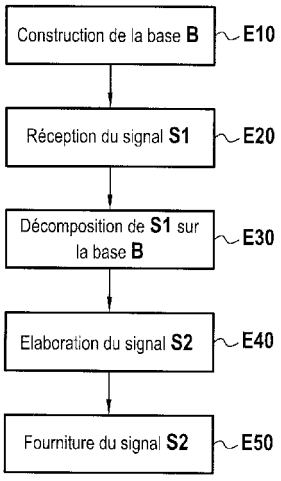
et

$f(W_k) = \alpha \times \rho(k)$,

où:

– α est une constante réelle déterminée; et

– $\rho(k)$, k = 1, ..., K, sont K nombres premiers consécutifs avec $\rho(1) = 2$.



FR 3 000 331 - A1

Arrière-plan de l'invention

L'invention se rapporte au domaine général des télécommunications.

Elle concerne plus particulièrement la conversion numérique de signaux dérivés, ou représentatifs, de signaux électriques provenant de chaînes d'acquisition de capteurs, tels que par exemple un signal acoustique capturé par un microphone, un signal vibratoire mesuré par un accéléromètre, ou encore un signal radio reçu par une antenne.

Au sens de l'invention, un capteur désigne tout type d'équipement apte à mesurer une quantité physique, telle que par exemple une température, une pression, une accélération, une onde radio ou acoustique, etc., et à restituer cette mesure sous la forme d'un signal électrique via une chaîne d'acquisition associée au capteur. Un tel capteur est par exemple un accéléromètre, un microphone, une antenne de réception, etc.

Dans l'état actuel de la technique, il est connu, pour des besoins notamment d'analyse, de traitement, de stockage ou encore de transmission sur un canal de communication, de convertir des signaux dérivés de tels signaux électriques dans un espace ou un domaine facilitant leur analyse, leur traitement, leur stockage ou leur transmission. Ainsi, notamment, il est connu de convertir un signal radio temporel, reçu par une antenne, dans un domaine fréquentiel dans lequel ce signal radio présente certaines caractéristiques facilitant son traitement.

Cette conversion est réalisée par l'intermédiaire d'une étape de décomposition des signaux sur une base finie d'éléments de décomposition représentant cet espace ou ce domaine. Elle peut être mise en œuvre notamment en convoluant le signal que l'on souhaite convertir (appelé signal d'entrée dans la suite de la description) avec les éléments de la base de décomposition.

Un exemple couramment mis en œuvre est la conversion d'un signal temporel dans le domaine fréquentiel via l'application d'une transformée de Fourier continue ou discrète selon le contexte envisagé. Un autre exemple connu

consiste à décomposer un signal acoustique sur une base d'ondelettes de Haar ou de Daubechies.

Le choix de la base de décomposition utilisée pour la conversion du signal est dicté par diverses considérations.

Ainsi, notamment, on choisira préférentiellement une base de décomposition complète sur l'espace sur lequel on souhaite convertir le signal d'entrée, de sorte à pouvoir reconstituer le signal d'entrée si nécessaire sans perte d'informations. Une base orthonormale $F = (w_i)_{i\epsilon I}$ d'un espace préhilbertien H sur un corps Γ (Γ est par exemple l'ensemble des nombres réels $\mathbb{R}$ ou l'ensemble des nombres complexes $\mathbb{C}$) est dite complète si :

$$\forall \varepsilon > 0, \forall x \epsilon H, \exists\, K \in \mathbb{N}, \exists (\lambda_k)_{k=0,\dots K} \epsilon\, \Gamma \;\text{ tel que } x - \sum_{k=0}^{K} \lambda_k w_k < \varepsilon$$

Une autre considération pouvant être prise en compte lors du choix de la base de décomposition concerne les ressources requises pour la conversion du signal sur la base de décomposition, à la fois en termes de calcul (temps, puissance de calcul nécessaire, etc.), mais également en termes de quantité de données générées en sortie de la conversion.

Une telle considération est d'autant plus importante lorsque la conversion du signal d'entrée vise à réaliser une compression du signal d'entrée, de sorte par exemple à le transmettre sur un canal de communication ou à le stocker sous une forme réduite afin de préserver les ressources.

Or, si les bases de décomposition classiquement envisagées actuellement pour la conversion de signaux dérivés de signaux électriques issus de chaînes d'acquisition de capteurs sont généralement complètes, elles ne sont pas toujours optimales pour autant en termes de consommation de ressources, c'est-à-dire de dimension minimale compte-tenu de l'espace des signaux considéré.

Il existe donc un besoin d'un procédé et d'un dispositif permettant une conversion d'un signal d'entrée dérivé d'un signal électrique issu d'un capteur offrant une bonne représentation du signal d'entrée tout en minimisant les ressources requises pour cette conversion.

Objet et résumé de l'invention

La présente invention a pour but notamment de répondre à ce besoin en proposant un procédé de conversion numérique d'un signal d'entrée, dérivé

d'un signal électrique reçu en provenance d'une chaîne d'acquisition d'un capteur, en un signal de sortie, ce procédé comportant :

— une étape de décomposition du signal d'entrée, sur une base de décomposition complète comprenant K+1 éléments de décomposition $w_k, k = 0, \ldots, \mathrm{K}$, définis sur un espace préhilbertien, K étant un nombre entier supérieur ou égal à 2, ou sur une base restreinte déduite de cette base de décomposition et complète sur un sous-espace de l'espace préhilbertien déterminé en fonction du signal d'entrée, cette base restreinte comprenant P+1 éléments choisis parmi les K+1 éléments de décomposition $w_k, k = 0, \ldots, \mathrm{K}$, l'étape de décomposition résultant en la détermination de composantes associées à chaque élément de la base de décomposition ou de la base restreinte ;

— une étape d'élaboration d'un signal de sortie à partir de tout ou partie des composantes déterminées à l'étape de décomposition ; et

— une étape de fourniture de ce signal de sortie à un dispositif de traitement ;

ledit procédé de conversion étant caractérisé en ce que les K+1 éléments de décomposition $w_k, k = 0, \ldots, \mathrm{K}$, ont des fréquences fondamentales $f(w_k)$ définies par :

$$f(w_0) = \alpha$$

et

$$f(w_k) = \alpha \times p(k),$$

où :

— α est une constante réelle déterminée ; et

— $p(k), k = 1, \ldots, \mathrm{K}$, sont K nombres premiers consécutifs avec $p(1) = 2$.

Corrélativement, l'invention vise aussi un dispositif de conversion numérique d'un signal d'entrée, dérivé d'un signal électrique reçu en provenance d'une chaîne d'acquisition d'un capteur, en un signal de sortie, ce dispositif comportant :

— un module de décomposition, apte à décomposer le signal d'entrée sur une base de décomposition complète comprenant K+1 éléments de décomposition $w_k, k = 0, \ldots, \mathrm{K}$, définis sur un espace préhilbertien, K étant un nombre entier supérieur ou égal à 2, ou sur une base restreinte déduite de cette base de décomposition et complète sur un sous-espace de l'espace

préhilbertien déterminé en fonction du signal d'entrée, cette base restreinte comprenant P+1 éléments choisis parmi les K+1 éléments de décomposition $w_k, k = 0, \ldots, \mathrm{K}$, le module de décomposition étant apte à déterminer des composantes associées à chaque élément de la base de décomposition ou de la base restreinte ;

— un module d'élaboration d'un signal de sortie à partir de tout ou partie des composantes déterminées par le module de décomposition ; et

— un module de fourniture de ce signal de sortie à un dispositif de traitement ;

ce dispositif de conversion étant caractérisé en ce que les K+1 éléments de décomposition $w_k, k = 0, \ldots, \mathrm{K}$, ont des fréquences fondamentales $f(w_k)$ définies par :

$$f(w_0) = \alpha$$

et

$$f(w_k) = \alpha \times p(k),$$

où :

— α est une constante réelle déterminée ; et

— $p(k), k = 1, \ldots, \mathrm{K}$, sont K nombres premiers consécutifs avec $p(1) = 2$.

Par fréquence fondamentale d'un élément de décomposition w_k (aussi appelé vecteur de décomposition), on entend l'harmonique de premier rang de l'élément de décomposition w_k, autrement dit, la fréquence significative la plus basse de cet élément.

Ainsi l'invention propose un procédé de conversion d'un signal d'entrée mettant en œuvre une décomposition de ce signal sur une base de décomposition judicieusement choisie.

De façon très avantageuse, la base de décomposition constituée des K+1 éléments de décomposition $w_k, k = 0, \ldots, \mathrm{K}$, que propose d'utiliser l'invention est non seulement complète, et permet de reconstituer sans perte d'information le signal d'entrée le cas échéant à partir du signal de sortie, mais également optimale, dans le sens où elle permet de minimiser les ressources nécessaires à cette conversion et à la représentation du signal de sortie.

En effet, la base de décomposition proposée par l'invention est de dimension minimale, autrement dit, toute autre base complète de décomposition

définie sur l'espace préhilbertien considéré est de taille supérieure ou égale à K+1.

Cette propriété est assurée par la condition de primarité imposée conformément à l'invention sur les fréquences fondamentales des éléments de décomposition de la base.

Il convient de noter que chaque élément w_k de la base est caractérisé par une fréquence fondamentale et, le cas échéant, des fréquences harmoniques jusqu'à un certain rang, de sorte que chaque composante résultant de l'étape de décomposition est une combinaison d'une pluralité de composantes fréquentielles.

L'invention propose donc avantageusement un procédé de conversion d'un signal d'entrée sur une base optimale.

Elle permet ainsi de minimiser le nombre d'opérations et le temps de calcul requis pour générer le signal de sortie à partir du signal d'entrée.

En outre, l'invention permet également de minimiser le volume de données générées et constituant le signal de sortie, autrement dit, de minimiser le volume nécessaire à la représentation du signal d'entrée par le signal de sortie.

L'invention propose donc un procédé très efficace de conversion d'un signal d'entrée dérivé d'un signal électrique reçu en provenance d'une chaîne d'acquisition d'un capteur. Ce procédé de conversion peut s'appliquer indifféremment à des signaux d'entrée continus ou discrets.

Le signal de sortie généré conformément à l'invention est ensuite fourni à un dispositif de traitement. Ce dispositif de traitement peut être par exemple un dispositif d'analyse du signal de sortie, de transmission du signal de sortie sur un canal de communication, ou encore un dispositif de stockage du signal de sortie. L'invention permet donc également d'économiser les ressources mises en œuvre par ce dispositif de traitement.

Dans un mode privilégié de réalisation de l'invention, les K+1 éléments de décomposition $\mathrm{w_k}, \mathrm{k} = 0, \ldots, \mathrm{K}$, de la base de décomposition sont définis par :

$$w_k = \frac{b_k + \sum_{j=2}^{m_k} sb_{k,j}}{a_k}$$

où $\{sb_{k,j}\}_{k=0,\ldots,K, j=2,\ldots,m_k}$ désigne un ensemble de fonctions harmoniques dont les fréquences fondamentales $f(sb_{k,j})$ vérifient :

$$f(sb_{k,j}) = j \times f(b_k) ,$$

$\{b_k\}_{k=0,\ldots,K}$ désignant un ensemble de fonctions dont les fréquences fondamentales $f(b_k)$ vérifient :

$$f(b_k) = f(w_k),$$

et où $a_k, k = 0, \ldots, K$ représentent des nombres réels ou complexes, et $m_k, k = 0, \ldots, K$ des nombres entiers positifs.

Ce mode de réalisation est particulièrement avantageux et permet de réaliser la conversion du signal d'entrée moyennant une faible complexité, à partir de sous-fonctions harmoniques, tout en garantissant que chaque élément de la base de décomposition permette de distinguer les fréquences harmoniques de sa propre fréquence fondamentale dans le signal résultant de la décomposition.

Toutefois, on peut bien entendu envisager d'autres bases de décomposition vérifiant les conditions requises par l'invention, comme par exemple des fonctions sinusoïdales, des fonctions carrées, etc.

Les nombres $a_k, k = 0, \ldots, K$ sont préférentiellement choisis de sorte que :

$$\langle w_k | w_k \rangle = 1$$

où <.|.> définit un produit scalaire entre les éléments de décomposition.

On s'assure ainsi d'avoir une base de décomposition normée, ce qui permet de conserver l'énergie du signal d'entrée en sortie de la conversion.

Le nombre K d'éléments de décomposition compris dans la base de décomposition, la constante α et les nombres $m_k, k = 0, \ldots, K$ de sous-fonctions harmoniques considérées pour construire chaque élément de décomposition w_k, dépendent de la fréquence maximale observable du signal d'entrée considéré.

Plus précisément, dans un mode particulier de réalisation de l'invention dans lequel le signal d'entrée est un signal discret comprenant N échantillons $S1_1, \ldots, S1_N$ (ce qui correspond à une fréquence d'échantillonnage égale à 1/N), le nombre K, la constante α et les nombres $m_k, k = 0, \ldots, K$ dépendent du nombre d'échantillons N, et sont choisis de sorte à vérifier :

$$\alpha = (1/N),$$

$$p(K) \leq (N/2),$$

$$m_0 \leq (N/2), \text{ et}$$

$$\forall k = 1, \ldots, K,\ p(k) \times m_k \leq (N/2).$$

Ce choix permet de s'assurer que le théorème de Nyquist Shannon est vérifié et d'éviter ainsi tout phénomène de repliement de spectre du fait de l'échantillonnage.

Dans un mode particulier de réalisation de l'invention, une dite composante R_{k0} associée à un dit élément de décomposition w_{k0} est déterminée par :

$$R_{k0} = \sum_{n=1}^{N} S1_n \, . w_{k0}(N+1-n)$$

où $w_{k0}(n)$ désigne la n-ième valeur échantillonnée de l'élément de décomposition w_{k0}, $n = 1, \ldots, N$.

En d'autres mots, l'étape de décomposition peut être mise en œuvre très aisément grâce à une convolution du signal d'entrée échantillonné avec les éléments de la base de décomposition ou de la base de décomposition restreinte.

Dans un mode particulier de réalisation de l'invention, la n-ième valeur échantillonnée de l'élément de décomposition w_{k0}est définie par :

$$w_{k0}(n) = \frac{b_{k0}(n) + \sum_{j=2}^{m_{k0}} sb_{k0,j}(n)}{a_{k0}}$$

avec :

si k0=0 : pour $j = 2, \ldots m_{k0}$

$$b_0(n) = e^{-i\frac{2\pi}{N}n},$$

$$sb_{k0,j}(n) = e^{-i\frac{2\pi}{N}jn}$$

et si $k0 = 1,2, \ldots$ ou K : pour $j = 2, \ldots m_{k0}$

$$b_{k0}(n) = e^{-i\frac{2\pi}{N}p(k0)n}$$

$$sb_{k0,j}(n) = e^{-i\frac{2\pi}{N}jp(k0)n}$$

avec $i^2 = -1$.

Une telle construction des éléments de décomposition de la base s'appuyant sur des fonctions homothétiquement harmoniques est particulièrement facile à mettre en œuvre, et permet d'obtenir des gains substantiels en terme de complexité et de ressources mises en œuvre lors de la conversion.

Ainsi, à titre illustratif, en comparaison par rapport à conversion sur une base de décomposition fréquentielle constituée d'éléments de décomposition de type $w'_k(n) = e^{-i\frac{2\pi}{N}kn}$, la conversion mise en œuvre par l'invention sur une base de décomposition « première » s'appuyant sur des éléments de décomposition dont les fréquences fondamentales sont multiples d'une même valeur, ces multiples correspondant aux K premiers nombres premiers consécutifs, conduit à un gain en termes de nombres d'opérations requises, de temps de calcul et de volume de données générées de l'ordre de N/L(N) où L(N) désigne le nombre de nombres premiers inférieurs ou égaux à N.

Conformément à l'invention, la conversion du signal d'entrée s'appuie sur une décomposition de ce signal sur la base de décomposition composée de K+1 éléments, complète sur l'espace préhilbertien considéré, ou sur une base restreinte complète sur un sous-espace de cet espace préhilbertien déterminé en fonction du signal d'entrée, cette base restreinte comprenant P+1 éléments choisis parmi les K+1 éléments de décomposition $w_k, k = 0, \ldots, \mathrm{K}$.

L'utilisation d'une base restreinte peut permettre de réduire davantage la complexité d'implémentation de la conversion du signal d'entrée conformément à l'invention lorsque le signal d'entrée est connu et présente des caractéristiques temporelles ou fréquentielles particulières. On peut alors déterminer un sous-espace de l'espace préhilbertien d'origine sur lequel le signal d'entrée est parfaitement défini compte tenu de ces caractéristiques temporelles ou fréquentielles particulières.

Le choix de ces P+1 éléments peut être notamment réalisé en fonction d'au moins une caractéristique temporelle ou fréquentielle du signal d'entrée, de sorte à s'assurer que les avantages procurés par l'invention (bonne représentation du signal d'entrée et ressources requises minimales) sont préservés.

A titre d'exemple, si le signal électrique délivré par la chaîne d'acquisition est un signal vibratoire généré par un système d'engrenages mécaniques dont les nombres de dents respectifs sont connus et premiers entre eux, on peut alors limiter la décomposition du signal d'entrée à une base restreinte composés des éléments de décomposition dont les fréquences fondamentales correspondent aux signatures fréquentielles associées aux valeurs de denture des engrenages.

De cette sorte, non seulement on limite la complexité liée à la mise en œuvre de la conversion du signal d'entrée en ne traitant que les données

pertinentes, mais également on filtre le bruit et on accélère le traitement des données.

Une telle base restreinte bien que n'étant pas complète pour l'espace préhilbertien d'origine considéré, l'est du point de vue du signal d'entrée, c'est-à-dire qu'elle permet de représenter le signal de façon fidèle et de le restituer si nécessaire sans perte d'information.

De façon similaire, dans un autre mode de réalisation de l'invention, les fonctions $\{b_k\}_{k=0,\ldots,K}$ et les fonctions harmoniques $\{sb_{k,j}\}_{k=0,\ldots,K,j=2,\ldots m_k,}$ peuvent être choisies en fonction d'au moins une caractéristique temporelle du signal d'entrée.

Il convient de noter que l'invention peut être appliquée à divers types de signaux d'entrée. Ainsi, par exemple, et de façon non exhaustive, le signal d'entrée peut être dérivé de l'un des signaux électriques suivants :

- un signal radio reçu en provenance d'une chaîne d'acquisition associée à une antenne de réception ;
- un signal vibratoire reçu en provenance d'une chaîne d'acquisition associée à un capteur de vibration ;
- un signal acoustique reçu en provenance d'une chaîne d'acquisition associée à microphone ; ou
- un signal électrique reçu en provenance d'une chaîne d'acquisition associée à un clavier d'ordinateur.

Corrélativement, l'invention vise également la reconstitution d'un signal d'origine à partir d'un signal converti conformément à un procédé de conversion selon l'invention, ou plus généralement à partir d'un signal dérivé d'un signal converti (par exemple suite au passage du signal converti dans un canal de transmission) conformément à un procédé de conversion selon l'invention.

Ainsi, l'invention vise un procédé de reconstitution d'un signal d'origine comportant :

- une étape de réception d'un signal dérivé d'un signal converti conformément à un procédé de conversion numérique selon l'invention, ce signal dérivé étant un signal discret $\hat{S}2$ comprenant K+1 échantillons $\hat{S}2_0, \ldots, \hat{S}2_K$; et
- une étape de reconstitution d'un signal d'origine $\hat{S}1$ discret comportant N échantillons $\hat{S}1_1, \ldots, \hat{S}1_N$ à partir des K+1 éléments de décomposition $w_k, k = 0, \ldots, K$ de la base de décomposition, chaque échantillon $\hat{S}1_n, n = 1, \ldots, N$ du signal d'origine étant reconstitué selon :

$$\hat{S}1_n = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{K} \hat{S}2_k \, . \overline{w}_k(n)$$

où $\overline{w}_k$ désigne l'élément dual de l'élément de décomposition w_k.

L'invention vise également un procédé de reconstitution d'un signal d'origine comprenant :

- une étape de réception d'un signal dérivé d'un signal converti conformément à un procédé de conversion numérique selon l'invention, dans lequel une base restreinte est utilisée lors de l'étape de décomposition, cette base restreinte comprenant P+1 éléments $wr_p, p = 0, \ldots, P$ choisis parmi les K+1 éléments de décomposition $w_k, k = 0, \ldots, \mathrm{K}$, ce signal dérivé étant un signal discret $\hat{S}2$ comprenant P+1 échantillons $\hat{S}2_0, \ldots, \hat{S}2_P$; et
- une étape de reconstitution d'un signal d'origine $\hat{S}1$ discret comprenant N échantillons $\hat{S}1_1, \ldots, \hat{S}1_N$ à partir des P+1 éléments $wr_p, p = 0, \ldots, P$, chaque échantillon $\hat{S}1_n, n = 1, \ldots, N$ du signal d'origine étant reconstitué selon :

$$\hat{S}1_n = \frac{1}{N} \sum_{p=0}^{P} \hat{S}2_p \, . \overline{wr}_p(n)$$

où $\overline{wr}_p$ désigne l'élément dual de l'élément de décomposition wr_p.

Dans un mode particulier de réalisation, les différentes étapes du procédé de conversion et/ou du procédé de reconstitution sont déterminées par des instructions de programmes d'ordinateurs ou de microprocesseurs.

En conséquence, l'invention vise aussi un programme d'ordinateur ou de microprocesseur sur un support d'informations, ce programme étant susceptible d'être mis en œuvre dans un dispositif de conversion ou plus généralement dans un ordinateur ou un microprocesseur, ce programme comportant des instructions adaptées à la mise en œuvre des étapes d'un procédé de conversion tel que décrit ci-dessus.

Corrélativement, l'invention vise aussi un programme d'ordinateur ou de microprocesseur sur un support d'informations, ce programme étant susceptible d'être mis en œuvre dans un dispositif de reconstitution ou plus généralement dans un ordinateur ou un microprocesseur, ce programme comportant des instructions adaptées à la mise en œuvre des étapes d'un procédé de reconstitution tel que décrit ci-dessus.

Chacun de ces programmes peut utiliser n'importe quel langage de programmation, et être sous la forme de code source, code objet, ou de code

intermédiaire entre code source et code objet, tel que dans une forme partiellement compilée, ou dans n'importe quelle autre forme souhaitable.

L'invention vise aussi un support d'informations lisible par un ordinateur, et comportant des instructions d'un programme d'ordinateur tel que mentionné ci-dessus.

Le support d'informations peut être n'importe quelle entité ou dispositif capable de stocker le programme. Par exemple, le support peut comporter un moyen de stockage, tel qu'une ROM, par exemple un CD ROM ou une ROM de circuit microélectronique, ou encore un moyen d'enregistrement magnétique, par exemple une disquette (floppy disc) ou un disque dur.

D'autre part, le support d'informations peut être un support transmissible tel qu'un signal électrique ou optique, qui peut être acheminé via un câble électrique ou optique, par radio ou par d'autres moyens. Le programme selon l'invention peut être en particulier téléchargé sur un réseau de type Internet.

Alternativement, le support d'informations peut être un circuit intégré dans lequel le programme est incorporé, le circuit étant adapté pour exécuter ou pour être utilisé dans l'exécution du procédé en question.

On peut également envisager, dans d'autres modes de réalisation, que le procédé et le dispositif de conversion, et le procédé de reconstitution selon l'invention présentent en combinaison tout ou partie des caractéristiques précitées.

Brève description des dessins

D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention ressortiront de la description faite ci-dessous, en référence aux dessins annexés qui en illustrent des exemples de réalisation dépourvus de tout caractère limitatif.

Sur les figures :

- la figure 1 représente, dans son environnement, un dispositif de conversion conforme à l'invention, dans un mode particulier de réalisation ;
- la figure 2 représente, sous forme schématique, l'architecture matérielle du dispositif de conversion illustré à la figure 1 ;
- la figure 3 représente, sous forme d'ordinogramme, les principales étapes d'un procédé de conversion selon l'invention, selon une première variante de réalisation dans laquelle il est mis en œuvre par le dispositif de conversion de la figure 1 ;

— la figure 4 représente, sous forme d'ordinogramme, les principales étapes d'un procédé de reconstitution selon l'invention, pouvant être mis en œuvre pour reconstituer un signal à partir d'un signal converti selon le procédé de conversion décrit à la figure 3 ;

— la figure 5 représente, sous forme d'ordinogramme, les principales étapes d'un procédé de conversion selon l'invention, selon une deuxième variante de réalisation dans laquelle il est mis en œuvre par le dispositif de conversion de la figure 1 ; et

— la figure 6 illustre des exemples de fonctions pouvant être envisagées pour construire les éléments de la base de décomposition utilisée lors de la conversion selon l'invention dans une troisième variante de réalisation.

Description détaillée de l'invention

La **figure 1** représente, dans son environnement, un dispositif 1 de conversion numérique d'un signal d'entrée S1 en un signal de sortie S2, conforme à l'invention, dans un mode particulier de réalisation.

Le signal d'entrée S1 est un signal dérivé par un dispositif intermédiaire 2 d'un signal électrique S reçu en provenance d'une chaîne d'acquisition 3 d'un capteur 4.

Dans l'exemple envisagé ici, le signal d'entrée S1 est un signal complexe, discret ou continu. Par souci de simplification, il s'agit d'un signal complexe monodimensionnel.

Ces hypothèses ne sont toutefois pas limitatives et l'invention s'applique également lorsque le signal S1 est un signal réel et/ou multidimensionnel, défini sur un espace préhilbertien sur le corps des réels ou des complexes.

Par signal dérivé d'un signal électrique S, on entend ici que le signal S1 est soit identique au signal électrique S (autrement dit, le dispositif intermédiaire 2 est transparent ou inexistant), soit résulte d'une transformation numérique appliquée au signal S1 par le dispositif intermédiaire 2, telle que par exemple une opération d'échantillonnage, de conversion analogique/numérique, de filtrage numérique ou encore de codage du signal S. Aucune limitation n'est attachée au type de prétraitement réalisé par le dispositif intermédiaire 2 pour dériver le signal S1 du signal électrique S.

Par ailleurs, le capteur 4 peut être tout type d'équipement apte à mesurer une quantité physique, telle que par exemple une température, une

pression, une vitesse ou une accélération, une onde radio ou acoustique, un signal optique, un champ magnétique, une intensité électrique, une hygrométrie, une contrainte mécanique, une position linéaire ou angulaire, etc., et à restituer cette mesure sous la forme d'un signal électrique via la chaîne d'acquisition 3.

Un tel capteur est par exemple un accéléromètre, un microphone, une antenne de réception, etc.

Un tel capteur et la chaîne d'acquisition qui lui est associée sont connus en soi et ne seront pas décrits plus en détail ici.

Corrélativement, l'invention s'applique à divers types de signaux électriques S. Comme mentionné précédemment, le signal S peut être notamment :

- un signal radio délivré par une chaîne d'acquisition d'une antenne de réception ;
- un signal vibratoire délivré par une chaîne d'acquisition d'un capteur de vibration ;
- un signal acoustique délivré par une chaîne d'acquisition d'un microphone ; ou
- un signal électrique délivré par une chaîne d'acquisition lié à un clavier d'ordinateur.

Ces exemples ne sont bien entendu pas limitatifs en soi, et l'invention peut s'appliquer à d'autres types de signaux électriques fournis par des chaînes d'acquisition de capteurs.

Dans la suite de la description, à titre illustratif, on considère un signal S1 discret, constitué de N échantillons, et résultant de l'échantillonnage par le dispositif intermédiaire 2 d'un signal électrique continu S fourni par la chaîne d'acquisition 3 du capteur 4.

Conformément à l'invention, le dispositif 1 de conversion s'appuie, pour la conversion du signal d'entrée S1, sur trois modules fonctionnels, à savoir :

- un module M1 de décomposition, apte à décomposer le signal d'entrée S1 sur une base de décomposition B ou sur une base de décomposition restreinte B', judicieusement choisie et définie conformément à l'invention, et à déterminer, via cette décomposition, des composantes associées à chaque élément de la base de décomposition B ou B' ;
- un module M2 d'élaboration du signal de sortie S2 à partir de tout ou partie des composantes déterminées par le module M1 ; et

— un module M3 de fourniture du signal de sortie S2 à un dispositif de traitement 5. Le dispositif de traitement 5 est par exemple un dispositif de stockage du signal de sortie S2 (ex. mémoire ou disque), ou de transmission du signal de sortie S2 sur un canal de communication (non représenté), ou encore un dispositif d'analyse du signal de sortie S2.

Dans le mode de réalisation décrit ici, le dispositif 1 de conversion dispose de l'architecture matérielle d'un ordinateur.

Ainsi, en référence à la **figure 2**, il comprend notamment un processeur 1A, une mémoire vive 1B, une mémoire morte 1C, une mémoire non volatile 1D dans laquelle est stockée notamment la base de décomposition B ou B' utilisée par le dispositif 1 de conversion, ainsi que des moyens de communication 1E avec d'une part le dispositif intermédiaire 2 et d'autre part, avec le dispositif 5 de traitement du signal de sortie S2.

Il convient de noter que le dispositif 1 de conversion, le dispositif intermédiaire 2, la chaîne d'acquisition 3, le capteur 4 et/ou le dispositif de traitement 5 peuvent être intégrés dans un unique équipement, tel que par exemple un calculateur ou un ordinateur, ou être répartis sur plusieurs équipements physiques distincts.

La mémoire morte 1C du dispositif 1 de conversion constitue un support d'enregistrement conforme à l'invention, lisible par le processeur 1A et sur lequel est enregistré un programme d'ordinateur conforme à l'invention, et comportant des instructions pour l'exécution des étapes d'un procédé de conversion conforme à l'invention.

Dans un autre mode de réalisation, on peut envisager une implémentation matérielle du procédé de conversion selon l'invention plutôt que logicielle.

Nous allons maintenant décrire en référence à la **figure 3**, une première variante de réalisation du procédé de conversion selon l'invention.

Dans cette première variante de réalisation, conformément à l'invention, le dispositif 1 de conversion génère le signal de sortie S2 à partir de composantes résultant de la décomposition du signal d'entrée S1 sur une base de décomposition dite « première » judicieusement choisie B.

La base de décomposition première B est ici une base de Hilbert, complète et minimale (c'est-à-dire optimale), qui est définie et construite au cours d'une étape préliminaire (étape E10), en fonction de la fréquence

d'échantillonnage du signal d'entrée S1, autrement dit ici, en fonction du nombre d'échantillons N du signal d'entrée S1.

Cette base de décomposition peut être soit construite et générée par le dispositif 1 de conversion lui-même (par exemple par le module M1 de décomposition), soit par un dispositif annexe qui fournit ensuite la base de décomposition première B au dispositif 1 de conversion.

Plus précisément, la base de décomposition première B est constituée d'une famille de K+1 (K étant un entier supérieur ou égal à 2) éléments de décomposition notés $w_k, k = 0, \ldots, \mathrm{K}$, définis sur un espace préhilbertien noté H sur le corps des complexes $\mathbb{C}$ (ici, H= $\mathbb{C}$, autrement dit, les éléments de décomposition $w_k, k = 0, \ldots, \mathrm{K}$ sont des nombres complexes), et formant une base de Hilbert.

Il convient de noter qu'aucune limitation n'est attachée à la nature des éléments de décomposition : il peut s'agir en particulier de nombres complexes, de vecteurs, de fonctions, de signaux, etc.

Ainsi, par définition de la base de décomposition B :

— les éléments de décomposition $w_k, k = 0, \ldots, \mathrm{K}$ forment une famille orthonormale de H, c'est-à-dire :

$$\forall (i, j) \in \{0, \ldots, K\}^2,\ i \neq j \Rightarrow \langle w_i | w_j \rangle = 0$$

et

$$\forall i \in \{0, \ldots, K\}, \langle w_i | w_i \rangle = 1$$

— et la famille formée par les éléments de décomposition $w_k, k = 0, \ldots, \mathrm{K}$ est complète, c'est-à-dire :

$$\forall \varepsilon > 0, \forall x \in H, \exists (\lambda_k)_{k=0,\ldots K} \in \mathbb{C} \text{ tel que } x - \sum_{k=0}^{K} \lambda_k w_k < \varepsilon$$

Par ailleurs, conformément à l'invention, et pour limiter les ressources impliquées dans la conversion du signal S1, la base de décomposition B est optimale dans le sens où elle comprend un nombre minimal K+1 d'éléments de décomposition, tout en restant complète, autrement dit, tout en permettant de reconstituer le cas échéant le signal S1 sans perte d'informations.

A cette fin, dans l'invention, les K+1 éléments de décomposition $w_k, k = 0, \ldots, \mathrm{K}$, sont choisis de sorte que leurs fréquences fondamentales, notées $f(w_k)$, vérifient :

$$f(w_0) = \alpha$$

et

$$f(w_k) = \alpha \times p(k),$$

où :

— α est une constante réelle déterminée ; et

— $p(k), k = 1, \ldots, K$, désignent K nombres premiers consécutifs avec $p(1) = 2$.

Par exemple, si K= 7 : p(1)=2, p(2)=3, p(3)=5, p(4)=7, p(5)=11, p(6) = 13 et p(7) = 17.

Par fréquence fondamentale d'un élément, on entend l'harmonique de premier rang de cet élément, en d'autres mots, la fréquence la plus basse présente dans l'élément. La notion de fréquence fondamentale d'un élément ou d'un signal est connue en soi, et ne sera pas détaillée davantage ici.

Plus particulièrement, dans la première variante décrite ici, les K+1 éléments de décomposition de la base de décomposition B sont construits à partir de fonctions $\{b_k\}_{k=0,\ldots,K}$, et de sous-fonctions harmoniques $\{sb_{k,j}\}_{k=0,\ldots,K,j=2,\ldots,m_k}$ obtenues en appliquant un facteur d'échelle aux fonctions $\{b_k\}_{k=0,\ldots,K}$, selon les définitions suivantes :

$$w_k = \frac{b_k + \sum_{j=2}^{m_k} sb_{k,j}}{a_k}$$

$$f(sb_{k,j}) = j \times f(b_k) \text{ , et}$$

$$f(b_k) = f(w_k),$$

où f(y) désigne la fréquence fondamentale de y (i.e. du signal ou de la fonction ou de l'élément y au sens général) et $a_k, k = 0, \ldots, K$ représentent des coefficients réels ou complexes normatifs tels que :

$$\forall k \epsilon \{0, \ldots, K\} \quad \langle w_k | w_k \rangle = 1$$

<.|.> désignant un produit scalaire défini sur l'espace H. Les nombres $m_k, k = 0, \ldots, K$ désignent les nombres de fonctions sous-harmoniques envisagés dans la construction des éléments de décomposition de la base B et sont à ce titre des nombres entiers positifs.

Dans la première variante décrite ici, on envisage, pour construire les éléments de décomposition de la base B, dans le cas d'un signal d'entrée S1 discret composé de N échantillons, les fonctions $\{b_k\}_{k=0,\ldots,K}$, et les sous-fonctions $\{sb_{k,j}\}_{k=0,\ldots,K,j=2,\ldots,m_k}$ discrètes suivantes :

pour $k = 0\ et\ j = 2, \dots, m_0$:

$$b_0(n) = e^{-i\frac{2\pi}{N}n},$$

$$sb_{0,j}(n) = e^{-i\frac{2\pi}{N}jn}$$

et pour $k = 1, \dots K\ et\ j = 2, \dots, m_k$:

$$b_k(n) = e^{-i\frac{2\pi}{N}p(k)n}$$

$$sb_{k,j}(n) = e^{-i\frac{2\pi}{N}jp(k)n}$$

sachant que $i^2 = -1$.

La n-ième valeur échantillonnée $w_k(n)$, $n = 1, \dots N$, de l'élément de décomposition w_k est alors définie par :

$$\forall k = 0, \dots, K, w_k(n) = \frac{b_k(n) + \sum_{j=2}^{m_k} sb_{k,j}(n)}{a_{k0}}$$

soit, en reportant dans cette définition les fonctions $\{b_k\}_{k=0,\dots,K}$ et $\{sb_{k,j}\}_{k=0,\dots,K,j=2,\dots,m_k}$ définies précédemment :

$$w_0(n) = \frac{b_0 + sb_{0,2} + sb_{0,3} + \cdots + sb_{0,m_0}}{a_0} = \frac{1}{a_0} e^{-\frac{i2\pi}{N}n} \frac{1 - e^{-\frac{i2\pi}{N}m_0 n}}{1 - e^{-\frac{i2\pi}{N}n}}$$

$$\text{avec } f(w_0) = f(b_0) = \frac{1}{N}$$

et

$$\forall\ 1 \leq k \leq K, w_k(n) = \frac{b_k + sb_{k,2} + sb_{k,3} + \cdots + sb_{k,m_k}}{a_k}$$

$$= \frac{1}{a_k} e^{-\frac{i2\pi}{N}p(k)n} \frac{1 - e^{-\frac{i2\pi}{N}p(k)m_k n}}{1 - e^{-\frac{i2\pi}{N}p(k)n}}$$

$$\text{avec } f(w_k) = f(b_k) = \frac{p(k)}{N}$$

Dans la première variante décrite ici, le nombre K+1 d'éléments de la base de décomposition B, et les nombres $m_k, k = 0, \dots, K$ de fonctions sous-harmoniques entrant dans la construction des éléments de décomposition de la base B, sont définis en fonction de la fréquence maximale observable du signal

d'entrée S1. Plus précisément, pour un signal S1 discret comprenant N échantillons $S1_1, \ldots, S1_N$, on prend :

$$\alpha = (1/N),$$

$$p(K) \leq (N/2),$$

$$m_0 \leq (N/2),$$

$$\forall k = 1, \ldots, K,\ p(k) \times m_k \leq (N/2).$$

Ces conditions permettent de vérifier le théorème de Nyquist Shannon et d'éviter ainsi tout repliement de spectre lié à l'échantillonnage du signal.

Il convient de noter que si le signal S1 est un signal continu, les nombres K+1 d'éléments de la base et m_k de sous-fonctions envisagées dans la construction des éléments de décomposition sont limités en fonction de l'étendue du spectre que l'on souhaite observer. On adopte alors une approche identique visant à s'assurer que le théorème de Nyquist-Shannon est respecté.

Les éléments $w_k, k = 0, \ldots, K$ ainsi construits forment la base de décomposition B destinée à être utilisée pour la décomposition du signal S1 par le dispositif 1 de conversion. Cette base de décomposition B est mémorisée ici dans la mémoire non volatile 1D du dispositif 1 de conversion.

Nous allons maintenant décrire les étapes mises en œuvre à proprement parler par le dispositif 1 de conversion pour convertir le signal d'entrée S1 reçu du dispositif intermédiaire 2, en un signal de sortie S2.

Sur réception du signal d'entrée S1 (étape E20), le dispositif 1 de conversion accède à la base de décomposition B stockée dans la mémoire non volatile 1D, puis réalise une décomposition du signal d'entrée S1 sur cette base de décomposition B (étape E30).

A cet effet, dans l'exemple envisagé ici où le signal d'entrée S1 est constitué de N échantillons $S1_1, S1_2, \ldots, S1_N$, le dispositif 1 de conversion évalue les composantes R_k associées aux différents éléments de décomposition w_k de la base B, *k=0,...,K*, en convoluant le signal d'entrée S1 avec les éléments de la base de décomposition B. Autrement dit, les composantes R_k sont définies selon l'équation suivante :

$$R_k = \sum_{n=1}^{N} S1_n \,.\, w_k(N + 1 - n)$$

Le dispositif 1 de conversion (et plus particulièrement, le module M2 du dispositif 1 de conversion) élabore alors le signal de sortie S2 à partir de tout ou partie des composantes $R_0, R_1, \ldots, R_K$ ainsi déterminées (étape E40).

Dans l'exemple envisagé ici, le signal de sortie S2 est formé des K+1 composantes $R_0, R_1, \ldots, R_K$.

En variante, on peut envisager de ne sélectionner que certaines composantes parmi les composantes $R_0, R_1, \ldots, R_K$, typiquement les composantes ayant une amplitude supérieure à un seuil prédéterminé de sorte à limiter l'introduction de bruit dans le signal de sortie S2.

Le signal de sortie S2 ainsi élaboré est fourni par le dispositif 1 de conversion (et plus particulièrement par le module M3 du dispositif 1 de conversion), via ses moyens de communication 1E, au dispositif 5 pour traitement (ex. stockage, transmission sur un canal radio, analyse, etc.) (étape E50).

Nous allons maintenant décrire, en référence à la **figure 4**, une variante de réalisation du procédé de reconstitution selon l'invention.

Afin de mieux illustrer la reconstitution mise en œuvre par l'invention, on suppose par exemple que le dispositif 5 émet, éventuellement après une mise en forme appropriée, le signal de sortie S2 sur un canal de transmission.

Le signal S2 est reçu sous la forme d'un signal $\hat{S}2$ discret composé de K+1 échantillons par un dispositif de réception (non représenté sur la figure 1).

Au sens de l'invention, le signal $\hat{S}2$ est un signal dérivé d'un signal converti conformément à l'invention, à savoir du signal converti S2. Aucune limitation n'est attachée aux traitements éventuels pouvant être mis en œuvre par le dispositif de réception sur le signal reçu en sortie du canal de transmission (filtrage, échantillonnage, etc.).

Le dispositif de réception transmet le signal $\hat{S}2$ à un dispositif de reconstitution apte à mettre en œuvre les différentes étapes d'un procédé de reconstitution selon l'invention. Ce dispositif de reconstitution s'appuie ici sur l'architecture matérielle d'un ordinateur, similaire à l'architecture du dispositif de conversion décrite précédemment.

En référence à la figure 4, on suppose que la base de décomposition B utilisée par le dispositif de conversion 1, a été construite de façon similaire par ce dispositif de reconstitution, ou fournie au dispositif de reconstitution (étape F10). Autrement dit, l'étape G10 est similaire ou identique à l'étape E10 décrite précédemment en référence à la figure 3.

Sur réception du signal discret $\hat{S}2$ (étape G20), constitué de K+1 échantillons $\hat{S}2_0, \hat{S}2_1, \ldots, \hat{S}2_K$, le dispositif de reconstitution reconstruit (i.e. reconstitue) le signal d'origine correspondant, autrement dit le signal avant conversion conformément à l'invention (G30).

Ce signal d'origine est le signal S1 si le signal $\hat{S}2 = S2$. De façon plus générale, on note le signal reconstruit $\hat{S}1$. Il comporte N échantillons $\hat{S}1_1, \ldots, \hat{S}1_N$.

Dans le mode de réalisation décrit ici, chaque échantillon $\hat{S}1_n, n = 1, \ldots, N$ du signal d'origine est reconstitué par déconvolution, autrement dit selon l'équation suivante :

$$\hat{S}1_n = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{K} \hat{S}2_k \, . \overline{w}_k(n)$$

où $\overline{w}_k$ désigne l'élément dual de l'élément de décomposition w_k. Pour la base de décomposition B envisagée précédemment, $\overline{w}_k$ désigne le complexe conjugué de l'élément de décomposition w_k.

Le signal $\hat{S}1$ ainsi reconstitué est ensuite fourni à un dispositif de traitement (étape G40).

Nous allons maintenant décrire, en référence à la **figure 5**, une deuxième variante de réalisation du procédé de conversion selon l'invention.

Selon cette seconde variante, la décomposition du signal S1 n'est pas effectuée sur l'ensemble de la base de décomposition B, mais sur une base restreinte B'. Cette base restreinte B' est déduite de la base de décomposition B et comprend P+1 éléments $wr_0, wr_1, \ldots, wr_P$, choisis parmi les K+1 éléments de décomposition $w_k, k = 0, \ldots, \mathrm{K}$, avec P<K.

Il convient de noter que dans cette deuxième variante de réalisation, la base B', bien que n'étant pas complète sur l'espace H du fait d'un nombre P+1 d'éléments inférieur au nombre K+1 (la base B étant en outre optimale), est choisie de sorte à être complète par rapport au signal d'entrée S1, autrement dit sur un sous-espace H' de l'espace H déterminé en fonction (i.e. qui dépend) du signal d'entrée S1.

De cette sorte, on s'assure que la base restreinte B' représente de façon fidèle le signal S1 sans perte d'informations. En revanche, comme elle ne contient pas K+1 éléments, elle ne permet pas une reconstruction complète sur l'espace H, le cas échéant, du signal d'entrée S1 à partir du signal de sortie S2. Toutefois, on peut reconstruire un signal pertinent bien qu'incomplet, car

débarrassé de bruits non significatifs. En outre le signal est complet sur le sous-espace H' défini par la base B'.

La conversion du signal S1 selon une telle base restreinte peut s'avérer utile et suffisante pour permettre une analyse des caractéristiques de ce signal.

L'utilisation d'une base restreinte B' est conditionnée dans cette deuxième variante de réalisation par la connaissance de certaines caractéristiques temporelles ou fréquentielles significatives du signal d'entrée S1.

Tel est le cas par exemple lorsque l'on considère un système d'engrenages mécaniques dont les nombres de dents respectifs sont connus et premiers entre eux, et qui génère un signal vibratoire mesuré à l'aide d'un capteur de vibrations tel qu'un accéléromètre. A titre illustratif, on envisage par exemple un système composé de trois engrenages en cascade dont les nombres de dents respectifs sont 13, 17 et 23. Le premier engrenage est supposé entraîné à une fréquence de rotation Ω.

Chacune des valeurs de denture 13, 17 et 23 est alors à l'origine d'une signature fréquentielle ayant respectivement comme fréquence fondamentale 13xΩ, 17xΩ et 23xΩ.

Autrement dit, selon cet exemple, il suffit de sélectionner pour la base restreinte B', les P+1=3 éléments de décomposition $wr_0 = w_6, wr_1 = w_7$ et $wr_2 = w_9$ de la base de décomposition B précédemment décrite pour lesquels :

$$f(w_6) = 13\text{x}\Omega \text{ (i.e. p(6)=13)}$$
$$f(w_7) = 17\text{x}\Omega \text{ (i.e. p(7)=17)}$$
$$f(w_9) = 23\text{x}\Omega \text{ (i.e. p(9)=23)}$$

et $\alpha = \Omega$.

En d'autres mots, selon cet exemple, les P+1=3 éléments de la base restreinte B' sont choisis parmi les K+1 éléments de la base de décomposition B en fonction d'au moins une caractéristique fréquentielle du signal S1.

En variante, on peut envisager de choisir les éléments de la base restreinte B', ou de faire évoluer les éléments de la base restreinte B', en fonction d'une caractéristique temporelle du signal S1, notamment si des caractéristiques spécifiques du signal S1 varient dans le temps (ex. apparition de nouvelles fréquences dans la signature fréquentielle du signal avec le temps ou décalage de certaines fréquences, due à l'usure dans l'exemple envisagé du système d'engrenages, etc.).

En référence à la figure 5, dans la deuxième variante de réalisation, une étape préliminaire de définition d'une base restreinte B' à partir des éléments de décomposition de la base B est donc mise en œuvre (étape F10), en prenant en compte les caractéristiques connues temporelles ou fréquentielles du signal d'entrée S1 (ex. sa signature fréquentielle comme décrit précédemment).

A cet effet, différentes méthodes peuvent être envisagées.

Ainsi, selon une méthode, une base de décomposition B complète composée de K+1 éléments est construite de façon similaire à l'étape E10, en adaptant notamment le paramètre α, et éventuellement les fonctions $\{b_k\}_{k=0,\ldots,K}$ et $\{sb_{k,j}\}_{k=0,\ldots,K,j=2,\ldots m_k,}$ aux caractéristiques temporelles et/ou fréquentielles du signal S1 (par exemple $\alpha = \Omega$, dans l'exemple du système à trois engrenages).

Puis, le module M1 sélectionne parmi les éléments de la base B ainsi construite un sous-ensemble d'éléments limité composé des éléments $wr_0 = w_6, wr_1 = w_7$ et $wr_2 = w_9$, et déterminé comme indiqué précédemment en prenant en compte les caractéristiques temporelles ou fréquentielles connues et significatives du signal S1.

Selon une autre méthode, on peut envisager de construire uniquement les éléments de la base de décomposition B qui sont pertinents pour la représentation du signal d'entrée S1, autrement dit, dans l'exemple envisagé précédemment, les éléments w_6, w_7et w_9.

Les P+1 éléments $wr_p, p = 0, \ldots, P$ ainsi obtenus forment la base de décomposition B' envisagée pour la décomposition du signal S1 par le dispositif 1 de conversion. Elle est mémorisée ici dans la mémoire non volatile 1D du dispositif 1 de conversion (étape F10).

Sur réception du signal d'entrée S1 (étape F20), le dispositif 1 de conversion accède à la base de décomposition B' stockée dans la mémoire non volatile 1D, puis réalise une décomposition du signal d'entrée S1 sur la base de décomposition B' (étape F30).

A cet effet, dans l'exemple envisagé ici où le signal d'entrée S1 est constitué de N échantillons $S1_1, S1_2, \ldots, S1_N$, le dispositif 1 de conversion procède de façon similaire à l'étape E30 en évaluant les composantes R_p associées aux différents éléments de décomposition wr_p de la base B', $p=0,\ldots,P$, selon l'équation suivante :

$$R_p = \sum_{n=1}^{N} S1_n \, . wr_p(N+1-n)$$

Le dispositif 1 de conversion (et plus particulièrement, le module M2 du dispositif 1 de conversion) élabore alors le signal de sortie S2 à partir de tout ou partie des composantes $R_0, R_1, \ldots, R_P$ ainsi déterminées (étape F40).

Dans l'exemple envisagé ici, le signal de sortie S2 est formé des P+1 composantes $R_0, R_1, \ldots, R_P$.

Le signal de sortie S2 ainsi élaboré est fourni par le dispositif 1 de conversion (et plus particulièrement par le module M3 du dispositif 1 de conversion), via ses moyens de communication 1E, au dispositif 5 pour traitement (ex. stockage, transmission sur un canal radio, analyse, etc.) (étape F50).

La reconstitution d'un signal d'origine à partir d'un signal dérivé d'un signal converti en utilisant une base restreinte telle que la base B' peut être réalisée de façon similaire à la reconstitution d'un signal d'origine lorsqu'une base B complète sur l'espace H est utilisée.

Plus précisément, si l'on utilise des notations similaires aux notations précédemment introduites en référence à la figure 4, le signal discret reçu $\hat{S}2$ comprend maintenant P+1 échantillons $\hat{S}2_0, \hat{S}2_1, \ldots, \hat{S}2_P$.

Le dispositif de reconstitution reconstitue (i.e. reconstruit) alors au cours de l'étape G30 le signal d'origine correspondant, à partir des P+1 éléments $wr_p, p = 0, \ldots, P$ de la base B', chaque échantillon $\hat{S}1_n, n = 1, \ldots, N$ du signal d'origine étant reconstitué selon :

$$\hat{S}1_n = \frac{1}{N} \sum_{p=0}^{P} \hat{S}2_p \, . \overline{wr_p}(n)$$

où $\overline{wr_p}$ désigne l'élément dual de l'élément de décomposition wr_p.

Il convient de noter, que dans les exemples décrits ici, on a envisagé un signal S1 complexe monodimensionnel. Toutefois, l'invention s'applique également à un signal d'entrée S1 complexe ou réel multidimensionnel, en procédant de façon identique à ce qui a été décrit pour le signal monodimensionnel sur chaque dimension.

Par ailleurs, dans les modes de réalisation décrits ici, on a envisagé une décomposition du signal d'entrée sur une base de décomposition première B ou sur une base de décomposition restreinte B' invariante dans le temps.

En variante, on peut envisager une décomposition reflétant une évolution temporelle de la décomposition proposée par l'invention. Ainsi, notamment, on peut envisager, dans une variante de réalisation, que la base de décomposition B ou la base de décomposition restreinte B' varie avec le temps et soit déterminée de manière adaptative.

Par ailleurs, l'invention ne se limite pas aux éléments de décomposition construits à partir des fonctions $\{b_k\}_{k=0,...,K}$ et des fonctions harmoniques $\{sb_{k,j}\}_{k=0,...,K,j=2,...m_k,}$ introduites dans la première et dans la deuxième variantes décrites précédemment.

Ainsi, dans une autre variante de réalisation, on peut choisir des fonctions $\{b_k\}_{k=0,...,K}$ et des fonctions harmoniques $\{sb_{k,j}\}_{k=0,...,K,j=2,...m_k,}$ pour générer les éléments de décomposition en fonction d'au moins une caractéristique temporelle du signal dérivé pour construire la base restreinte B' et plus généralement une base de décomposition B.

Un exemple de telles fonctions est illustré à la **figure 6**, dans le cas continu. Toutefois, l'adaptation de cet exemple au cas discret ne poserait pas de difficultés pour l'homme du métier, via notamment un échantillonnage approprié des signaux.

Sur la figure 6, est représenté un exemple de signal S1 disposant d'une signature temporelle connue (par signature temporelle on entend l'évolution temporelle du signal S1) sur l'intervalle de temps [-T,T]. S1 est par exemple un signal vibratoire représentatif de l'engrènement d'une dent d'un engrenage.

Selon cet exemple, on peut envisager de choisir la fonction b_0 égale au signal S1, puis on construit les fonctions harmoniques $\{sb_{0,j}\}_{j=2,...m_{0,}}$ en appliquant des décalages temporels à b_0. Par exemple :

— Pour $sb_{0,2}$:

Sur [-T;0] : $sb_{0,2} = \frac{1}{C2} b_0(2t + T)$

Sur [0;T] : $sb_{0,2} = \frac{1}{C2} b_0(2t - T)$

où C2 désigne une constante.

— Pour $sb_{0,3}$:

Sur [-T;-T/3] : $sb_{0,3} = \frac{1}{C3} b_0(3t + 2T)$

Sur [-T/3;T/3] : $sb_{0,3} = \frac{1}{C3} b_0(3t)$

Sur [T/3;T] : $sb_{0,3} = \frac{1}{C3} b_0(3t - 2T)$

où C3 désigne une constante.

— Pour $sb_{0,j}, j = 4, \ldots m_0$
Sur [-T;-T+2T/j] : $sb_{0,j} = \frac{1}{Cj} b_0(jt + (j-1)T)$

....

Sur [T-2T/j;T] : $sb_{0,j} = \frac{1}{Cj} b_0(jt - (j-1)T)$

où Cj désigne une constante.

De façon similaire, on peut choisir les fonctions $b_1, b_2, \ldots, b_K$ égales respectivement aux sous-fonctions harmoniques $sb_{0,p(1)=2}, sb_{0,p(2)=3,} \ldots sb_{0,p(K)}$, puis on construit les fonctions harmoniques $\{sb_{k,j}\}_{k=1,\ldots,K,,j=2,\ldots m_{0,}}$ en appliquant des décalages temporels aux fonctions $b_1, b_2, \ldots, b_K$.

Les règles homothétiques appliquées sur la fréquence et l'amplitude (i.e. les constantes Cj) des fonctions $\{b_k\}_{k=0,\ldots,K}$ pour déterminer les sous-fonctions harmoniques $\{sb_{k,j}\}_{k=0,\ldots,K,j=2,\ldots m_{k,}}$ sont définies de façon connue en soi de sorte à conserver les propriétés hilbertiennes de la base. Des principes homothétiques similaires sont appliqués pour une décomposition selon des ondelettes, et ne seront donc pas décrits davantage ici.

Différentes applications de la présente invention peuvent être envisagées, dont quelques exemples sont donnés ici à titre illustratif, et de façon non exhaustive.

Exemples d'application liés à l'analyse spectrale de signaux :

Premier exemple :

Le signal électrique S est un signal radio capté par une antenne 4 de réception, et démodulé par un dispositif 3 de prétraitement apte à réaliser une conversion analogique/numérique du signal S générant ainsi un signal d'entrée échantillonné S1.

Le dispositif 1 de conversion est selon ce premier exemple une carte de traitement du signal ou un logiciel d'analyse embarqué sur un ordinateur ou sur un terminal équipé de l'antenne de réception 4, et apte à décomposer le signal S1 selon la base de décomposition B définie précédemment en fonction de la fréquence d'échantillonnage du signal S1.

Le signal S2 généré à partir de la décomposition du signal S1 est fourni à un dispositif de traitement 5 apte à mémoriser, visualiser et exploiter le signal S2 et son évolution dans le temps.

Deuxième exemple :

Le signal électrique S est un signal vibratoire capté par un accéléromètre 4 sur le carter d'un réducteur mécanique à engrenages, et démodulé par un dispositif 2 de prétraitement apte à réaliser une conversion analogique/numérique du signal S générant ainsi un signal d'entrée échantillonné S1.

Le dispositif 1 de conversion est selon ce deuxième exemple une carte de traitement du signal ou un logiciel d'analyse embarqué sur un ordinateur ou sur un terminal, et apte à décomposer le signal S1 selon la base de décomposition B définie précédemment en fonction de la fréquence d'échantillonnage du signal S1.

Le signal S2 généré à partir de la décomposition du signal S1 est fourni à un dispositif de traitement 5 apte à mémoriser, visualiser et exploiter le signal S2 et son évolution dans le temps.

Bien entendu, ces exemples ne sont pas limitatifs, et on peut envisager d'autres exemples d'application de la conversion proposée par l'invention dans le but notamment de réaliser une analyse spectrale d'un signal d'entrée S1 et de son évolution dans le temps, dérivé d'un signal sismologique, optique, acoustique, etc.

<u>Exemple d'application liés à la compression/décompression de données numériques (audio, images, vidéo, etc.)</u> :

Troisième exemple :

Le signal électrique S est un signal acoustique capté par un microphone 4 et démodulé par un dispositif 2 de prétraitement apte à réaliser une conversion analogique/numérique du signal S générant ainsi un signal d'entrée échantillonné S1.

Le dispositif 1 de conversion est selon ce troisième exemple une carte (hardware) de traitement du signal ou un logiciel d'analyse embarqué sur un ordinateur ou sur un terminal, et apte à décomposer le signal S1 selon une base de décomposition restreinte B' déduite de la base de décomposition B définie

précédemment en fonction de la fréquence d'échantillonnage du signal S1. On se limite dans ce cas, pour choisir les éléments de la base de décomposition restreinte B', aux fréquences audibles par l'oreille humaine, typiquement entre 20Hz et 20 kHz.

Le signal S2 généré à partir de la décomposition du signal S1 est fourni à un dispositif de traitement 5 apte à mémoriser dans un fichier le signal S2 et à le transmettre sur un canal radio.

Une recomposition du signal S1 peut être envisagée selon une opération inverse à l'étape de décomposition, à partir du signal transmis sur le canal radio et capté par un haut-parleur.

REVENDICATIONS

1. Procédé de conversion numérique d'un signal d'entrée (S1), dérivé d'un signal électrique (S) délivré par une chaîne d'acquisition (3) d'un capteur (4), en un signal de sortie, ce procédé comportant :

— une étape (E30,F30) de décomposition du signal d'entrée (S1), sur une base (B) de décomposition complète comprenant K+1 éléments de décomposition $w_k, k = 0, \ldots, \mathrm{K}$, définis sur un espace préhilbertien, K étant un nombre entier supérieur ou égal à 2, ou sur une base (B') restreinte déduite de cette base de décomposition et complète sur un sous-espace de l'espace préhilbertien déterminé en fonction du signal d'entrée, cette base restreinte comprenant P+1 éléments choisis parmi les K+1 éléments de décomposition $w_k, k = 0, \ldots, \mathrm{K}$, cette étape de décomposition résultant en la détermination de composantes associées à chaque élément de la base de décomposition ou de la base restreinte ;

— une étape (E40,F40) d'élaboration d'un signal de sortie à partir de tout ou partie des composantes déterminées à l'étape de décomposition ; et

— une étape (E50,F50) de fourniture de ce signal de sortie à un dispositif de traitement (5) ;

ledit procédé de conversion étant caractérisé en ce que les K+1 éléments de décomposition $w_k, k = 0, \ldots, \mathrm{K}$, ont des fréquences fondamentales $f(w_k)$ définies par :

$$f(w_0) = \alpha$$

et

$$f(w_k) = \alpha \times p(k),$$

où :

— α est une constante réelle déterminée ; et

— $p(k), k = 1, \ldots, \mathrm{K}$, sont K nombres premiers consécutifs avec $p(1) = 2$.

2. Procédé de conversion selon la revendication 1 dans lequel les K+1 éléments de décomposition $\mathrm{w_k}, \mathrm{k} = 0, \ldots, \mathrm{K}$, de la base de décomposition (B) sont définis par :

$$w_k = \frac{b_k + \sum_{j=2}^{m_k} sb_{k,j}}{a_k}$$

où $\{sb_{k,j}\}_{k=0,\ldots,K,j=2,\ldots,m_k}$ désigne un ensemble de fonctions harmoniques dont les fréquences fondamentales $f(sb_{k,j})$ vérifient :

$$f(sb_{k,j}) = j \times f(b_k) \ ,$$

et $\{b_k\}_{k=0,\ldots,K}$ désigne un ensemble de fonctions dont les fréquences fondamentales $f(b_k)$ vérifient :

$$f(b_k) = f(w_k),$$

$a_k, k = 0, \ldots, K$ représentant des nombres réels ou complexes, et $m_k, k = 0, \ldots, K$ des nombres entiers positifs.

3. Procédé de conversion selon la revendication 2 dans lequel les nombres $a_k, k = 0, \ldots, K$ sont choisis tels que :

$$\langle w_k | w_k \rangle = 1$$

où <.|.> définit un produit scalaire entre les éléments de décomposition.

4. Procédé de conversion selon l'une quelconque des revendications 1 à 3 dans lequel le signal d'entrée (S1) est un signal discret S1 comprenant N échantillons $S1_1, \ldots, S1_N$, et :

$$\alpha = (1/N),$$

$$p(K) \leq (N/2),$$

$$m_0 \leq (N/2),$$

$$\forall k = 1, \ldots, K, \ p(k) \times m_k \leq (N/2).$$

5. Procédé de conversion selon la revendication 4, dans lequel au cours de l'étape de décomposition (E30,F30), une dite composante R_{k0} déterminée à l'étape de décomposition associée à un dit élément de décomposition w_{k0} est déterminée par :

$$R_{k0} = \sum_{n=1}^{N} S1_n \ . w_{k0}(N + 1 - n)$$

où $w_{k0}(n)$ désigne la n-ième valeur échantillonnée de l'élément de décomposition w_{k0}, $n = 1, \ldots, N$.

6. Procédé de conversion selon la revendication 4 ou 5, dans lequel au la n-ième valeur échantillonnée de l'élément de décomposition w_{k0} est définie par :

$$w_{k0}(n) = \frac{b_{k0}(n)+\sum_{j=2}^{m_{k0}} sb_{k0,j}(n)}{a_{k0}}$$

avec :

si k0=0 : pour $j = 2, \dots m_0$

$$b_0(n) = e^{-i\frac{2\pi}{N}n},$$

$$sb_{0,j}(n) = e^{-i\frac{2\pi}{N}jn}$$

et si $k0 = 1,2, \dots ou\ K$: pour $j = 2, \dots m_{k0}$

$$b_{k0}(n) = e^{-i\frac{2\pi}{N}p(k0)n}$$

$$sb_{k0,j}(n) = e^{-i\frac{2\pi}{N}jp(k0)n}$$

avec $i^2 = -1$.

7. Procédé de conversion selon l'une quelconque des revendications 1 à 6 dans lequel l'étape de décomposition (F30) est réalisée sur une base restreinte (B') complète sur un sous-espace de l'espace préhilbertien déterminé en fonction du signal d'entrée et dont les P+1 éléments sont choisis en fonction d'au moins une caractéristique temporelle ou fréquentielle du signal d'entrée.

8. Procédé de conversion selon l'une quelconque des revendications 2 à 5 dans lequel les fonctions $\{b_k\}_{k=0,\dots,K}$ et les fonctions harmoniques $\{sb_{k,j}\}_{k=0,\dots,K,j=2,\dots m_k,}$ sont choisies en fonction d'au moins une caractéristique temporelle du signal d'entrée (S1).

9. Procédé de conversion selon l'une quelconque des revendications 1 à 8 dans lequel le signal d'entrée (S1) est dérivé de l'un des signaux électriques (S) suivants :

— un signal radio délivré par une chaîne d'acquisition d'une antenne de réception ;

— un signal vibratoire délivré par une chaîne d'acquisition d'un capteur de vibration ;
— un signal acoustique délivré par une chaîne d'acquisition d'un microphone ; ou
— un signal électrique délivré par une chaîne d'acquisition liée à un clavier d'ordinateur.

10. Procédé de reconstitution d'un signal d'origine ($\hat{S}1$) comportant :
— une étape de réception (G20) d'un signal dérivé $\hat{S}2$ d'un signal converti ($\hat{S}1$) conformément à un procédé de conversion numérique selon la revendication 5 ou 6, ce signal dérivé étant un signal discret $\hat{S}2$ comprenant K+1 échantillons $\hat{S}2_0, \ldots, \hat{S}2_K$; et
— une étape de reconstitution (G30) d'un signal d'origine $\hat{S}1$ discret comportant N échantillons $\hat{S}1_1, \ldots, \hat{S}1_N$ à partir des K+1 éléments de décomposition $w_k, k = 0, \ldots, K$ de la base de décomposition, chaque échantillon $\hat{S}1_n, n = 1, \ldots, N$ du signal d'origine étant reconstitué selon :

$$\hat{S}1_n = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{K} \hat{S}2_k \, . \overline{w}_k(n)$$

où $\overline{w}_k$ désigne l'élément dual de l'élément de décomposition w_k.

11. Procédé de reconstitution d'un signal d'origine comprenant :
— une étape de réception d'un signal dérivé d'un signal converti conformément à un procédé de conversion numérique selon la revendication 5 ou 6, dans lequel une base restreinte est utilisée lors de l'étape de décomposition, cette base restreinte comprenant P+1 éléments $wr_p, p = 0, \ldots, P$ choisis parmi les K+1 éléments de décomposition $w_k, k = 0, \ldots, \mathrm{K}$, ce signal dérivé étant un signal discret $\hat{S}2$ comprenant P+1 échantillons $\hat{S}2_0, \ldots, \hat{S}2_P$; et
— une étape de reconstitution d'un signal d'origine $\hat{S}1$ discret comprenant N échantillons $\hat{S}1_1, \ldots, \hat{S}1_N$ à partir des P+1 éléments $wr_p, p = 0, \ldots, P$, chaque échantillon $\hat{S}1_n, n = 1, \ldots, N$ du signal d'origine étant reconstitué selon :

$$\hat{S}1_n = \frac{1}{N} \sum_{p=0}^{P} \hat{S}2_p \, . \overline{wr}_p(n)$$

où $\overline{wr}_p$ désigne l'élément dual de l'élément de décomposition wr_p.

12. Programme d'ordinateur comportant des instructions pour l'exécution des étapes du procédé de conversion selon l'une quelconque des revendications 1 à 9 ou du procédé de reconstitution selon la revendication 10 ou 11 lorsque ledit programme est exécuté par un ordinateur.

13. Support d'enregistrement lisible par un ordinateur sur lequel est enregistré un programme d'ordinateur comprenant des instructions pour l'exécution des étapes du procédé de conversion selon l'une quelconque des revendications 1 à 9 ou du procédé de reconstitution selon la revendication 10 ou 11.

14. Dispositif (1) de conversion numérique d'un signal d'entrée (S1), dérivé d'un signal électrique (S) reçu en provenance d'une chaîne d'acquisition (3) d'un capteur (4), en un signal de sortie (S2), ce dispositif comportant :

— un module (M1) de décomposition, apte à décomposer le signal d'entrée sur une base de décomposition (B) complète comprenant K+1 éléments de décomposition $w_k, k = 0, \ldots, \mathrm{K}$, définis sur un espace préhilbertien, K étant un nombre entier supérieur ou égal à 2, ou sur une base restreinte (B') déduite de cette base de décomposition et complète sur un sous-espace de l'espace préhilbertien déterminé en fonction du signal d'entrée, cette base restreinte comprenant P+1 éléments choisis parmi les K+1 éléments de décomposition $w_k, k = 0, \ldots, \mathrm{K}$, , le module de décomposition étant apte à déterminer des composantes associées à chaque élément de la base de décomposition ou de la base restreinte ;

— un module (M2) d'élaboration d'un signal de sortie à partir de tout ou partie des composantes déterminées par le module de décomposition; et

— un module (M3) de fourniture de ce signal de sortie à un dispositif de traitement (5) ;

ledit dispositif de conversion étant caractérisé en ce que les K+1 éléments de décomposition $w_k, k = 0, \ldots, \mathrm{K}$, ont des fréquences fondamentales $f(w_k)$ définies par :

$$f(w_0) = \alpha$$

et

$$f(w_k) = \alpha \times p(k),$$

où :

— α est une constante réelle déterminée ; et
— $p(k), k = 1, \ldots, \mathrm{K}$, sont K nombres premiers consécutifs avec $p(1) = 2$.

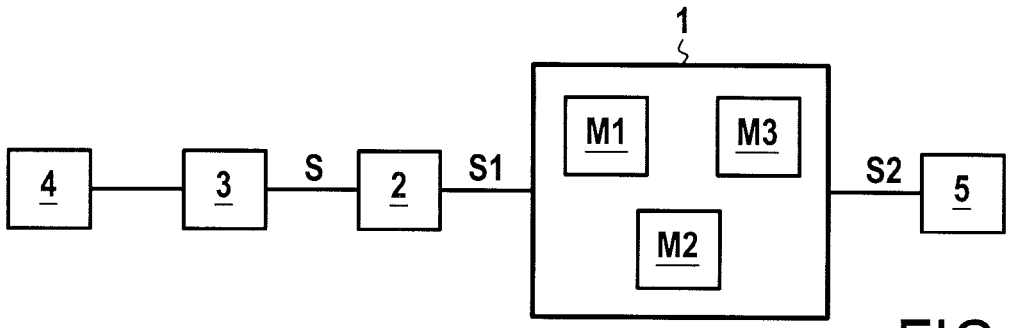


FIG.1

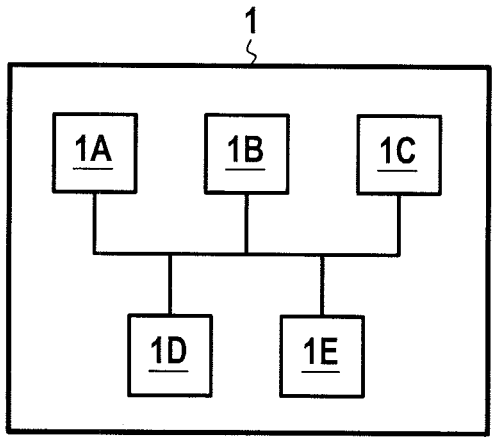


FIG.2

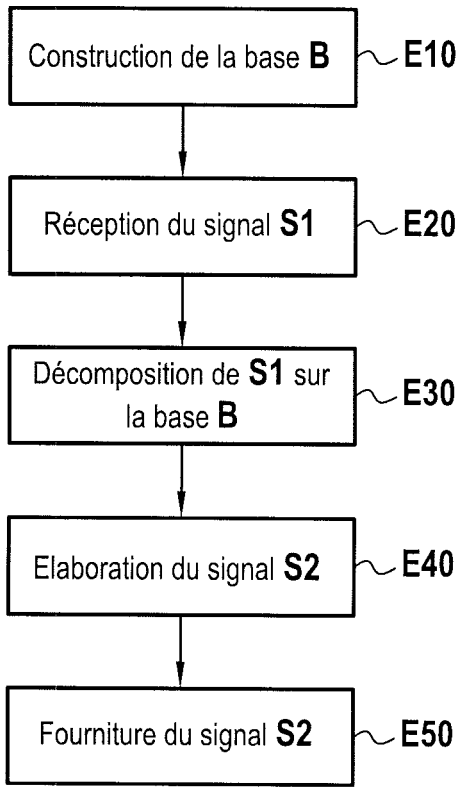


FIG.3

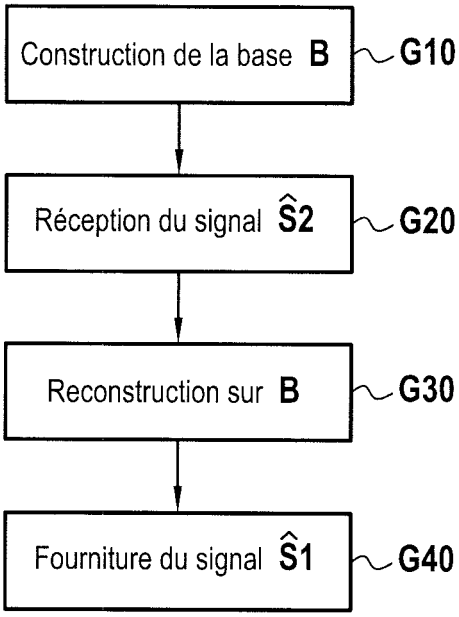

Construction de la base B
G10
Réception du signal Ŝ2
G20
Reconstruction sur B
G30
Fourniture du signal Ŝ1
G40

FIG.4

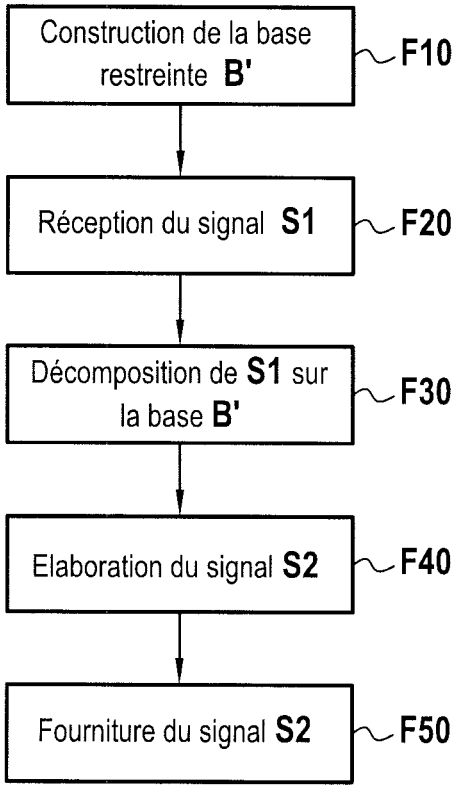

Construction de la base restreinte B'
F10
Réception du signal S1
F20
Décomposition de S1 sur la base B'
F30
Elaboration du signal S2
F40
Fourniture du signal S2
F50

FIG.5

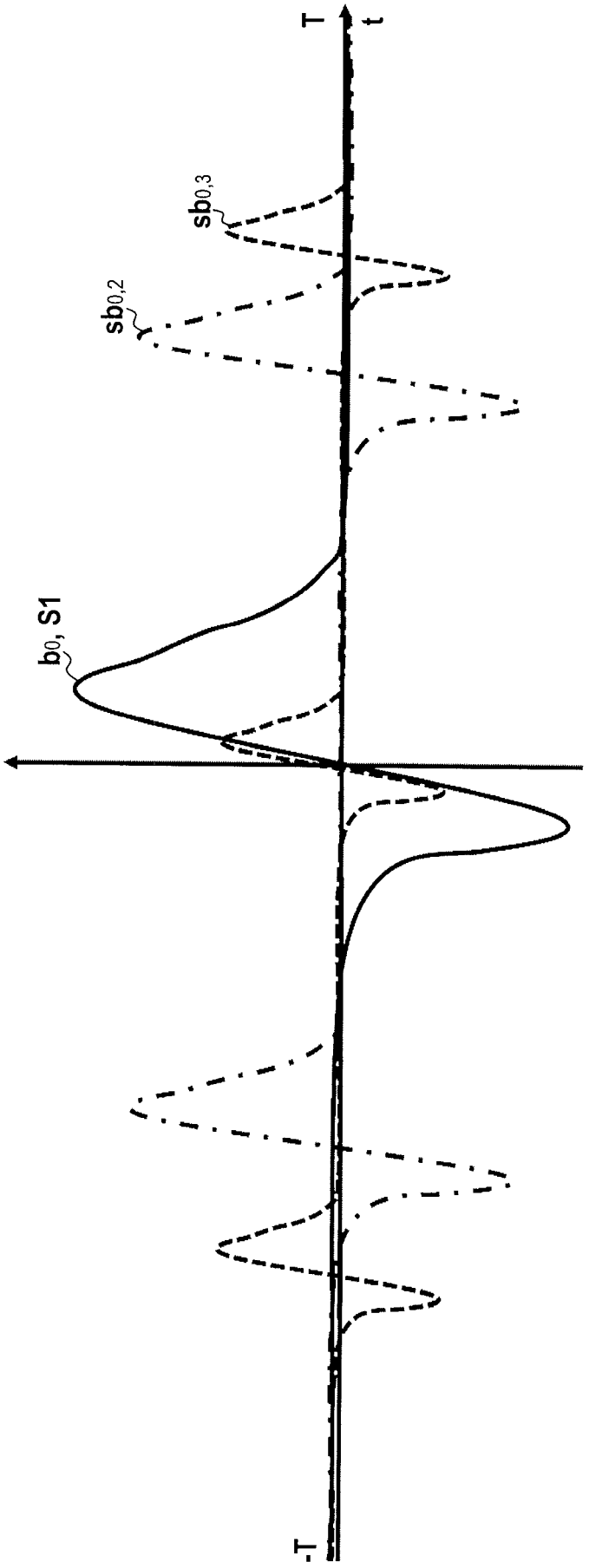


FIG.6

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement national

FA 776646
FR 1262569

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	M T Kilani: "Multifrequency signal enhancement and estimation using IIR filter bank structures", PhD Thesis, 1995, XP055085813, Extrait de l'Internet: URL:http://ro.uow.edu.au/cgi/viewcontent.cgi?article=2346&context=theses [extrait le 2013-10-29] * pages 1, 2, 6 and 7 *	1-14	H04L1/00
A	CAMACHO ARTURO ET AL: "A sawtooth waveform inspired pitch estimator for speech and music", THE JOURNAL OF THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS FOR THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA, NEW YORK, NY, US, vol. 124, no. 3, septembre 2008 (2008-09), pages 1638-1652, XP012120410, ISSN: 0001-4966, DOI: 10.1121/1.2951592 * le document en entier *	1-14	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) G06F H04L
A	WO 02/10897 A2 (POPINEAU GERARD [FR]) 7 février 2002 (2002-02-07) * le document en entier *	1-14	
A	Gunter Schmer: "Application Report DTMF Tone Generation and Detection: An Implementation Using the TMS320C54x", Application Report SPRA096A - May 2000, mai 2000 (2000-05), pages 1-19, XP055085779, Extrait de l'Internet: URL:http://www.eng.iastate.edu/ee424/labs/C54Docs/spra096a.pdf [extrait le 2013-10-29] * le document en entier *	1-14	

Date d'achèvement de la recherche	Examinateur
29 octobre 2013	Huguet Serra, G

CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS

X : particulièrement pertinent à lui seul
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie
A : arrière-plan technologique
O : divulgation non-écrite
P : document intercalaire

T : théorie ou principe à la base de l'invention
E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.
D : cité dans la demande
L : cité pour d'autres raisons

& : membre de la même famille, document correspondant

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1262569 FA 776646

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du 29-10-2013
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 0210897 A2	07-02-2002	AT 459036 T	15-03-2010
		AU 8224401 A	13-02-2002
		CN 1535413 A	06-10-2004
		DK 1305704 T3	07-06-2010
		EP 1305704 A2	02-05-2003
		ES 2341941 T3	30-06-2010
		FR 2813418 A1	01-03-2002
		MC 200048 A	02-07-2002
		PT 1305704 E	01-06-2010
		US 2003165342 A1	04-09-2003
		WO 0210897 A2	07-02-2002

EPO FORM P0465