

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
**INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**
—
COURBEVOIE
—

①① N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

3 083 326

②① N° d'enregistrement national : **18 56008**

⑤① Int Cl⁸ : **G 01 V 13/00 (2018.01)**

①②

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ **PROCÉDE ET SYSTÈME D'ESTIMATION DE LA DÉRIVÉ D'UNE HORLOGE DE DATATION D'ECHANTILLONS DE DONNÉES SISMIQUES.**

②② **Date de dépôt** : 29.06.18.

③③ **Priorité** :

④③ **Date de mise à la disposition du public de la demande** : 03.01.20 Bulletin 20/01.

④⑤ **Date de la mise à disposition du public du brevet d'invention** : 16.10.20 Bulletin 20/42.

⑤⑥ **Liste des documents cités dans le rapport de recherche** :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥⑥ **Références à d'autres documents nationaux apparentés** :

Demande(s) d'extension :

⑦① **Demandeur(s)** : SERCEL — FR.

⑦② **Inventeur(s)** : L'HER CHRISTOPHE.

⑦③ **Titulaire(s)** : SERCEL.

⑦④ **Mandataire(s)** : IPSILON.

FR 3 083 326 - B1



PROCEDE ET SYSTEME D'ESTIMATION DE LA DERIVE D'UNE HORLOGE DE DATATION D'ECHANTILLONS DE DONNEES SISMIQUES

La présente invention se rapporte à un procédé et un système
5 d'estimation de la dérive dans le temps d'un paramètre physique de
fonctionnement d'une horloge de datation d'échantillons de données
sismiques.

L'invention appartient au domaine de la prospection sismique, qu'elle
soit marine ou terrestre, et s'applique notamment à la minimisation des
10 erreurs de datation des échantillons de données sismiques recueillis.

Toute horloge présente au fil du temps un certain décalage dans le
temps, qui s'exprime par exemple par une erreur de phase accumulée,
communément appelée « dérive ». Cette dérive est due à divers facteurs, dont
le vieillissement de l'horloge ou encore la température de l'environnement
15 dans lequel elle se trouve.

Cette dérive affecte aussi bien les horloges du type comportant un
oscillateur à quartz (oscillateurs compensés en température TCXO, en anglais
« Temperature Controlled Crystal Oscillators », ou oscillateurs compensés à
microcontrôleur MCXO, en anglais « Microcontroller Compensated Crystal
20 Oscillators, ou encore oscillateurs à quartz thermostatés OCXO, en anglais
« Oven Controlled Crystal Oscillators ») que les horloges du type atomique (au
rubidium ou au césium).

Lorsque l'horloge est utilisée pour dater des événements tels que des
réceptions d'échantillons de données sismiques, la dérive de l'horloge induit
25 des erreurs dans la datation de ces échantillons.

Les méthodes actuelles de correction de la dérive de l'horloge se
fondent généralement sur l'hypothèse que cette dérive est linéaire et
appliquent donc des corrections elles aussi linéaires. C'est le cas par exemple
dans le document de brevet US-A-9 417 359. Cela signifie que, si par exemple
30 une erreur accumulée de phase de l'horloge de 30 ms a été mesurée au bout
de 30 jours de fonctionnement, on considère que la dérive est de 1 ms par
jour et on rectifie d'autant.

Néanmoins, cette façon de procéder n'est pas satisfaisante car on

constate en pratique que la dérive de l'horloge n'est pas linéaire.

L'invention a pour but de remédier à au moins un des inconvénients précités de l'art antérieur.

Dans ce but, la présente invention propose un procédé d'estimation de
5 la dérive dans le temps d'un paramètre physique de fonctionnement d'une horloge de datation d'échantillons de données sismiques associée à un nœud de collecte de données sismiques, notamment en mer avec un nœud adapté pour rester sur un fond marin, remarquable en ce que :

on mesure au moins une grandeur associée à l'horloge, à des instants
10 prédéterminés ou pendant des périodes de temps prédéterminées ; et

on applique à cette grandeur une loi prédéterminée non linéaire de variation de cette grandeur qui dépend des valeurs recueillies lors de l'étape de mesure, de façon à obtenir une estimation de la dérive dans le temps du paramètre physique.

15 Il en résulte une erreur résiduelle de datation par l'horloge inférieure à l'erreur résiduelle obtenue lorsqu'on applique une correction linéaire à la dérive de l'horloge.

En outre, ce procédé peut être mis en œuvre, soit au sein même de l'équipement de collecte de données sismiques, soit dans un ordinateur
20 séparé.

Par ailleurs, on peut estimer la dérive de l'horloge à tout moment à l'issue d'une campagne de collecte de données sismiques, voire même au cours de la campagne lorsque celle-ci a une durée particulièrement longue.

De plus, au cas où l'horloge est du type OCXO, ce procédé est robuste
25 vis-à-vis du temps de chauffe du four de l'horloge.

Au surplus, ce procédé peut être appliqué indifféremment à tout type d'horloge, dont les horloges du type à quartz (dont TCXO, MCXO et OCXO) et les horloges du type atomique (dont celles au rubidium et celles au césium).

L'invention permet d'obtenir une estimation de bonne qualité de la
30 dérive de l'horloge, ce qui permet d'appliquer une correction pertinente aux échantillons de données sismiques recueillis.

Dans un premier mode particulier de réalisation, le procédé est remarquable en ce que lors de l'étape de mesure :

avant déploiement du nœud pour une mission de collecte de données sismiques, on mesure la fréquence instantanée initiale de l'horloge et on synchronise un signal interne d'information temporelle du nœud par rapport à un signal d'information temporelle de référence ;

5 à un instant prédéterminé au cours de la mission, on mesure la fréquence instantanée de l'horloge et le déphasage entre le signal interne d'information temporelle du nœud et le signal d'information temporelle de référence ;

et lors de l'étape d'application de la loi précitée, on estime l'erreur de
10 fréquence instantanée de l'horloge à partir des fréquences instantanées initiale et à l'instant prédéterminé précité et du déphasage.

L'instant précité peut par exemple correspondre au dernier instant de la mission, c'est-à-dire à la fin de la mission.

Dans ce mode de réalisation, suivant une caractéristique particulière
15 possible, suivant la loi prédéterminée précitée, la fréquence instantanée varie suivant une équation polynomiale d'ordre 2, de sorte que la phase de ladite horloge varie suivant une équation polynomiale d'ordre 3.

Dans ce mode de réalisation, suivant une caractéristique particulière possible, lors d'une étape préliminaire, on règle la fréquence de sortie de
20 l'horloge de façon à réduire l'erreur de fréquence instantanée de l'horloge. Cette étape préliminaire peut être effectuée par exemple lors d'une phase de fabrication ou lors d'une phase de maintenance de l'horloge.

Cela permet de minimiser encore davantage l'erreur résiduelle de datation par l'horloge.

25 Dans ce mode de réalisation, suivant une caractéristique particulière possible, le signal d'information temporelle de référence est fourni par un système de localisation GPS.

Selon une caractéristique particulière possible, avant déploiement du nœud pour une mission de collecte de données sismiques, on mesure en outre
30 l'évolution de la grandeur précitée en fonction de la température de l'horloge ; pendant la mission, on mesure la température de l'horloge ; et la loi précitée prend en compte la température.

La prise en compte de la température dans l'estimation de la dérive de

de l'horloge permet d'améliorer la précision de cette estimation.

Dans un second mode particulier de réalisation, le procédé est remarquable en ce que lors de l'étape de mesure, on mesure la phase pendant une première période de temps prédéterminée avant déploiement du nœud
5 pour une mission de collecte de données sismiques et pendant une seconde période de temps prédéterminée à la fin de la mission, et lors de l'étape d'application de la loi précitée, on utilise une méthode d'interpolation, de façon à obtenir une estimation de l'erreur accumulée de phase de l'horloge.

Cette façon de procéder a pour avantage de ne pas nécessiter de
10 mesurer la fréquence instantanée de l'horloge et est donc encore plus simple à mettre en œuvre que le premier mode de réalisation.

Dans un troisième mode particulier de réalisation, le procédé est remarquable en ce que lors de l'étape de mesure, on mesure l'erreur accumulée de phase de l'horloge pendant une période de temps correspondant
15 à une mission simulée de collecte de données sismiques.

Dans ce troisième mode de réalisation, il est possible de s'affranchir de l'application d'une loi prédéterminée non linéaire de variation de la grandeur qui dépend des valeurs recueillies lors de l'étape de mesure.

Dans le même but que celui indiqué plus haut, la présente invention
20 propose en outre un procédé d'estimation de la dérive dans le temps d'un paramètre physique de fonctionnement d'une horloge de datation d'échantillons de données sismiques associée à un nœud de collecte de données sismiques, remarquable en ce que :

on mesure au moins une grandeur associée à l'horloge, à des instants
25 prédéterminés ou pendant des périodes de temps prédéterminées ; et

on mesure l'erreur accumulée de phase de l'horloge pendant une période de temps correspondant à une mission simulée de collecte de données sismiques.

Selon une caractéristique particulière possible de ce procédé :

30 avant déploiement du nœud pour une mission de collecte de données sismiques, on mesure en outre l'évolution de la grandeur précitée en fonction de la température de l'horloge ;

pendant la mission, on mesure la température de l'horloge.

Dans tous les modes de réalisation précités, le nœud peut être adapté à une utilisation sur fond marin.

Toujours dans le même but que celui indiqué plus haut, la présente invention propose également un système d'estimation de la dérive dans le
5 temps d'un paramètre physique de fonctionnement d'une horloge de datation d'échantillons de données sismiques associée à un nœud de collecte de données sismiques, remarquable en ce qu'il comporte un module adapté à mettre en œuvre des étapes d'un procédé tel que succinctement décrit ci-dessus.

10 Les avantages et caractéristiques particulières du système étant similaires à ceux du procédé, ils ne sont pas rappelés ici.

D'autres aspects et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée ci-après de modes particuliers de réalisation de l'invention, donnés à titre d'exemples nullement limitatifs, en référence aux
15 dessins annexés, dans lesquels :

- la figure 1 est un organigramme illustrant de façon générale des étapes d'un procédé d'estimation de la dérive dans le temps d'un paramètre physique de fonctionnement d'une horloge de datation d'échantillons de données sismiques conforme à la présente invention ;

20 - la figure 2 est un organigramme illustrant des étapes du procédé de la figure 1 dans un premier mode particulier de réalisation où le paramètre physique de fonctionnement est la fréquence instantanée de l'horloge ;

- la figure 3 est un organigramme illustrant des étapes du procédé de la figure 1 dans un second mode particulier de réalisation où le paramètre
25 physique de fonctionnement est la phase de l'horloge ; et

- la figure 4 est un organigramme illustrant des étapes du procédé de la figure 1 dans un troisième mode particulier de réalisation incluant une mission simulée.

Dans toute la suite, on considère un nœud de collecte de données
30 sismiques. Ces données sont collectées au moyen de divers capteurs sismiques, dont des capteurs de vitesse, des accéléromètres ou encore des hydrophones et/ou des géophones. A un nœud donné peuvent par exemple être associés trois géophones, ou un hydrophone et trois géophones, ou un

hydrophone et trois accéléromètres, toute autre combinaison de capteurs étant envisageable. En particulier, bien que la collecte des données puisse être réalisée à terre ou dans un puits, dans un mode particulier de réalisation, on s'intéressera à une collecte de données sismiques en mer, par un nœud qui
5 est notamment apte à être posé au fond de l'eau pour une campagne sismique avant récupération.

Une horloge est associée à ce nœud afin de dater les échantillons de données sismiques reçus par le nœud.

Sachant que, par exemple lors d'une campagne de collecte de données
10 sismiques en mer, le nœud peut rester au fond de la mer pendant plusieurs mois, l'horodatage des échantillons de données sismiques est assuré par une horloge haut de gamme, présentant une stabilité élevée.

Cette horloge peut être du type à oscillateur à quartz (par exemple TCXO, MCXO ou OCXO) ou du type atomique (par exemple au rubidium ou au
15 césium). Elle est définie par un paramètre physique de fonctionnement, qui peut être par exemple sa phase par rapport à une horloge de référence, ou encore sa fréquence instantanée.

Comme expliqué en introduction, au fil du temps et après une synchronisation initiale, l'horloge subit une dérive qui se traduit au bout d'une
20 durée prédéterminée par une erreur accumulée de phase ou une erreur accumulée de fréquence instantanée.

La figure 1 illustre le procédé d'estimation de cette dérive conforme à l'invention dans sa généralité.

Il comporte une étape 10 de mesure d'une grandeur physique associée
25 à l'horloge. On mesure cette grandeur physique, soit à des instants prédéterminés, soit pendant des périodes de temps prédéterminées.

Cette étape 10 de mesure est suivie d'une étape 12 au cours de laquelle on applique à cette grandeur physique une loi prédéterminée non linéaire de variation. On obtient alors une estimation de l'erreur accumulée de
30 phase de l'horloge, cette erreur étant représentative de la dérive de l'horloge.

On détaille ci-après deux modes particuliers de réalisation de ce procédé d'estimation, selon que la grandeur physique choisie est la fréquence instantanée et/ou la phase de l'horloge.

Dans un premier mode de réalisation où on utilise comme grandeurs physiques à mesurer la fréquence instantanée et la phase de l'horloge, le détail de l'étape de mesure 10 est illustré par la figure 2.

5 Cette étape de mesure est réalisée en deux phases : lors d'une première phase, qui se déroule avant déploiement du nœud pour une mission de collecte de données sismiques, on mesure lors d'une étape 100 la fréquence instantanée initiale f_i de l'horloge et on synchronise, lors d'une étape 102, un signal interne d'information temporelle du nœud par rapport à un signal d'information temporelle de référence.

10 Le signal interne d'information temporelle du nœud est produit par l'horloge. Elle fonctionne généralement à une fréquence de plusieurs MHz, par exemple 10 MHz et, par l'intermédiaire d'un diviseur de fréquence d'horloge, l'horloge fournit également un signal à une autre fréquence, de 1 Hz par exemple, qui est utilisé comme signal interne d'information temporelle ou PPS
15 (impulsion par seconde, en anglais « Pulse Per Second ») interne.

Ce PPS interne permet à un microcontrôleur d'horodater les échantillons de données sismiques reçus par les capteurs sismiques et avec l'aide d'un convertisseur analogique-numérique. Les données sismiques reçues sont mémorisées dans une mémoire, qui peut par exemple être du type
20 « flash ».

Lors de l'étape 102, on cale ce PPS interne sur un signal de référence ou PPS externe, qui peut par exemple être fourni par un système global de positionnement ou GPS (en anglais « Global Positioning System »), sachant que lorsque le nœud est sur un navire de prospection sismique, il est
25 généralement connecté à un récepteur GPS.

Cette opération de synchronisation ou calage peut être réalisée via l'envoi d'un signal de réinitialisation par le microcontrôleur à l'horloge.

Après synchronisation, il n'y a plus de différence de phase entre les PPS interne et externe.

30 A l'issue de cette première phase, le nœud est déployé et la mission de collecte de données sismiques se déroule pendant un certain nombre de jours, de semaines, voire de mois, l'horloge fonctionnant en permanence pendant la mission.

Dans l'exemple d'une collecte de données sismiques en mer, comme le signal GPS est électromagnétique, il ne traverse pas la colonne d'eau. Il reste donc inaccessible pour l'horloge. Le signal GPS peut également être inaccessible lors d'une collecte de données sismiques à terre.

5 Au fil du temps, l'erreur de fréquence instantanée de l'horloge induit une erreur accumulée de phase entre le PPS interne et le PPS externe. En effet, l'électronique horodate les données sismiques au moyen d'un signal censé avoir une fréquence constante de 1 Hz dans l'exemple décrit ici, mais en pratique, ce n'est pas le cas, car l'instabilité en température et le
10 vieillissement des oscillateurs à quartz (TCXO, MCXO ou OCXO) ainsi que des oscillateurs atomiques (rubidium ou césium) ne sont pas négligeables.

L'erreur de phase accumulée peut être mesurée lorsque le PPS externe est disponible, c'est-à-dire, dans l'exemple d'une mission en mer, lorsque le nœud est rapatrié à bord du navire de prospection sismique et reconnecté au
15 récepteur GPS.

Ainsi, lors d'une seconde phase, qui se déroule à la fin de la mission de collecte de données sismiques, lors d'une étape 104, on mesure la fréquence instantanée finale f_f de l'horloge, ainsi que le déphasage final entre le PPS interne et le PPS externe.

20 En variante, cette seconde phase peut se dérouler à un instant prédéterminé au cours de la mission, auquel cas on mesure la fréquence instantanée de l'horloge à cet instant ainsi que le déphasage à cet instant entre le PPS interne et le PPS externe.

Lors de l'étape 12 d'application de la loi prédéterminée non linéaire de
25 variation de la fréquence instantanée de l'horloge, on estime l'erreur finale de fréquence instantanée de l'horloge à partir des fréquences instantanées initiale f_i et finale f_f et du déphasage final.

Pour ce faire, conformément à l'invention, on formule l'hypothèse que la fréquence instantanée de l'horloge varie suivant une équation polynomiale
30 d'ordre 2, d'où il s'ensuit que la phase de l'horloge varie suivant une équation polynomiale d'ordre 3.

Soit $\varepsilon(t)$ l'erreur de fréquence instantanée de l'horloge en fonction du temps t . L'équation polynomiale d'ordre 2 s'écrit :

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_i + \alpha \cdot t + \beta \cdot t^2$$

où $\varepsilon_i = \varepsilon(0)$ désigne l'erreur de fréquence initiale et α et β désignent des coefficients prédéterminés.

L'erreur de phase accumulée est donnée par :

$$5 \quad \varphi(t) = \int \varepsilon(t) dt$$

L'erreur de phase accumulée est donc donnée par l'équation polynomiale d'ordre 3 suivante :

$$\varphi(t) = \varepsilon_i \cdot t + \alpha \cdot \frac{t^2}{2} + \beta \cdot \frac{t^3}{3}$$

10 Soit T l'instant de fin de la mission. L'erreur finale de fréquence instantanée et l'erreur finale de phase mesurées à l'instant T sont notées :

$$\varepsilon(T) = \varepsilon_f$$

$$\varphi(T) = \varphi_f$$

On peut alors calculer les coefficients α et β , étant donné qu'on dispose de deux équations à deux inconnues :

$$15 \quad \beta = \frac{\varphi_f - \frac{T}{2}(\varepsilon_f + \varepsilon_i)}{\left(\frac{1}{3} - \frac{1}{2}\right) \cdot T^3}$$

$$\alpha = \frac{\varepsilon_f - \varepsilon_i - \beta \cdot T^2}{T}$$

Ces coefficients peuvent être calculés soit dans le nœud, soit en post-traitement, dans un calculateur séparé.

20 En variante, au lieu d'une loi de variation de la fréquence fondée sur une équation polynomiale, on pourrait utiliser d'autres formes d'évolution, telles qu'une évolution logarithmique par exemple.

Avant déploiement du nœud, on peut réduire l'erreur de fréquence instantanée de l'horloge en effectuant une étape préliminaire de réglage de la fréquence de sortie de l'horloge.

25 Cette étape peut être réalisée soit au moment de la fabrication de l'horloge, soit lors d'une maintenance de l'horloge. Les horloges du commerce disposent en effet d'une entrée permettant ce réglage.

Pour prendre en compte les changements de température qui peuvent se produire notamment au début ou à la fin de la mission, en raison du

déploiement ou du rapatriement du nœud et de l'électronique associée dans une eau froide par exemple dans le cas d'une mission en mer, on peut améliorer l'estimation de la dérive de l'horloge en introduisant un paramètre de température.

5 A cet effet, avant déploiement du nœud pour une mission de collecte de données sismiques, on mesure l'évolution de la fréquence instantanée de l'horloge en fonction de la température de l'horloge. Puis pendant la mission, on mesure la température de l'horloge.

On introduit alors dans la loi de variation non linéaire de la fréquence
10 instantanée de l'horloge un paramètre ε_{Temp} représentatif de l'erreur de fréquence instantanée d'horloge due au changement de température. L'équation polynomiale d'ordre 3 donnant l'erreur de phase accumulée de l'horloge devient alors :

$$\varphi(t) = (\varepsilon_i + \varepsilon_{Temp}) \cdot t + \alpha \cdot \frac{t^2}{2} + \beta \cdot \frac{t^3}{3}$$

15 avec

$$\beta = \frac{\varphi_f - \frac{T}{2}(\varepsilon_f + \varepsilon_i)}{\left(\frac{1}{3} - \frac{1}{2}\right) \cdot T^3}$$

$$\alpha = \frac{\varepsilon_f - \varepsilon_i - \beta \cdot T^2 - 2 \cdot \varepsilon_{Temp}}{T}$$

20 La figure 3 illustre le déroulement du procédé conforme à l'invention dans un second mode de réalisation, où le paramètre physique de fonctionnement de l'horloge utilisé n'est pas la fréquence instantanée, mais la phase de l'horloge.

Dans ce mode de réalisation, l'étape 10 de mesure se déroule en deux
25 temps.

Tout d'abord, avant déploiement du nœud pour une mission de collecte de données sismiques, on mesure lors d'une étape 200 la phase de l'horloge de façon continue pendant une période de temps prédéterminée $\Delta T1$ de façon à connaître l'évolution de l'erreur accumulée de phase pendant cette période
30 $\Delta T1$.

Puis à la fin de la mission, on mesure à nouveau, lors d'une étape 202, la phase de l'horloge, de façon continue pendant une période de temps prédéterminée ΔT_2 , de façon à connaître l'évolution de l'erreur accumulée de phase pendant cette période ΔT_2 .

5 Ensuite, lors d'une étape 204, on estime l'erreur accumulée de phase pendant la mission, c'est-à-dire entre les deux périodes ΔT_1 et ΔT_2 , en utilisant une méthode d'interpolation telle que par exemple la méthode des splines, une spline étant une fonction définie par morceaux par des polynômes. Cette méthode d'interpolation est connue en soi. Cet exemple
10 n'est pas limitatif : on pourrait utiliser une autre méthode d'interpolation.

Ce mode de réalisation est avantageux en ce qu'il ne requiert pas de mesurer la fréquence instantanée de l'horloge. Il peut donc être mis en œuvre par une électronique encore plus simple que dans le premier mode de réalisation.

15 Dans un troisième mode de réalisation, illustré par la figure 4, en amont de la mission, on mesure lors d'une étape 300 l'erreur accumulée de phase au cours d'une mission simulée, en production ou en maintenance, à différentes températures. Cela constitue une forme de calibration. La loi décrite plus haut est ensuite appliquée pour estimer l'erreur accumulée de
20 phase pendant une mission réelle, lors d'une étape 302.

Le système d'estimation de la dérive dans le temps de l'horloge conforme à l'invention peut comporter un module électronique ou informatique, soit embarqué dans le nœud, soit déporté dans un ordinateur ou ordinateur ou circuit électronique séparé, capable de mesurer l'erreur de
25 fréquence et/ou de phase de l'horloge au début et à la fin de la mission, ce qui permet d'estimer l'erreur de phase accumulée suivant un polynôme d'ordre 3, tandis que les équipements classiques sont seulement capables de mesurer la dérive de phase et donc d'estimer l'erreur de phase accumulée suivant un polynôme d'ordre 1.

30 Plus particulièrement, le module précité est configuré pour réaliser les étapes décrites plus haut en lien avec les figures 1 à 4. Lorsque le module est embarqué dans le nœud, il peut consister en une unité distincte des unités fonctionnelles déjà présentes dans le nœud, telles que le microcontrôleur du

nœud, ou bien il peut être intégré fonctionnellement à de telles unités. A titre d'exemple, le microcontrôleur du nœud est configuré pour réaliser en outre au moins certaines des étapes décrites plus haut en lien avec les figures 1 à 4.

REVENDEICATIONS

1. Procédé d'estimation de la dérive dans le temps d'un paramètre physique de fonctionnement d'une horloge de datation d'échantillons de données sismiques associée à un nœud de collecte de données sismiques, dans lequel :

5

on mesure (10) au moins une grandeur associée à ladite horloge, à des instants prédéterminés ou pendant des périodes de temps prédéterminées ; et

10

on applique (12) à ladite grandeur une loi prédéterminée non linéaire de variation de ladite grandeur qui dépend des valeurs recueillies lors de ladite étape (10) de mesure, de façon à obtenir une estimation de la dérive dans le temps dudit paramètre physique,

ledit procédé étant caractérisé en ce que lors de ladite étape (10) de mesure :

15

avant déploiement dudit nœud pour une mission de collecte de données sismiques, on mesure (100) la fréquence instantanée initiale de ladite horloge et on synchronise (102) un signal interne d'information temporelle dudit nœud par rapport à un signal d'information temporelle de référence ;

20

à un instant prédéterminé au cours de ladite mission, on mesure (104) la fréquence instantanée finale de ladite horloge et le déphasage entre ledit signal interne d'information temporelle dudit nœud et ledit signal d'information temporelle de référence ;

25

et lors de ladite étape (12) d'application de ladite loi, on estime l'erreur de fréquence instantanée de ladite horloge à partir desdites fréquences instantanées initiale et audit instant prédéterminé et dudit déphasage,

30

et en ce que suivant ladite loi prédéterminée, ladite fréquence instantanée varie suivant une équation polynomiale d'ordre 2, de sorte que la phase de ladite horloge varie suivant une équation polynomiale d'ordre 3.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que lors d'une étape préliminaire, on règle la fréquence de sortie de ladite horloge de façon à réduire l'erreur de fréquence instantanée de ladite horloge.
3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'on effectue ladite étape préliminaire pendant une phase de fabrication de ladite horloge.
4. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'on effectue ladite étape préliminaire pendant une phase de maintenance de ladite horloge.
5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit signal d'information temporelle de référence est fourni par un système de localisation GPS.
6. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que :

avant déploiement dudit nœud pour une mission de collecte de données sismiques, on mesure en outre l'évolution de ladite grandeur en fonction de la température de ladite horloge ;

pendant ladite mission, on mesure la température de ladite horloge ; et ladite loi prédéterminée prend en compte ladite température.
7. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit instant prédéterminé au cours de la mission correspond à la fin de la mission.
8. Procédé d'estimation de la dérive dans le temps d'un paramètre physique de fonctionnement d'une horloge de datation d'échantillons de données sismiques associée à un nœud de collecte de données sismiques, dans lequel :

on mesure (10) au moins une grandeur associée à ladite horloge, à des instants prédéterminés ou pendant des périodes de temps prédéterminés ; et

on applique (12) à ladite grandeur une loi prédéterminée non linéaire de variation de ladite grandeur qui dépend des valeurs recueillies lors de

ladite étape (10) de mesure, de façon à obtenir une estimation de la dérive dans le temps dudit paramètre physique,

5 ledit procédé étant caractérisé en ce que lors de ladite étape (10) de mesure, on mesure (200, 202) la phase de ladite horloge pendant une première période de temps prédéterminée avant déploiement dudit nœud pour une mission de collecte de données sismiques et pendant une seconde période de temps prédéterminée à la fin de ladite mission et lors de ladite étape (12) d'application de ladite loi, on utilise (204) une méthode d'interpolation, de façon à obtenir une estimation de
10 l'erreur accumulée de phase de ladite horloge et en ce que suivant ladite loi prédéterminée, la phase de ladite horloge varie suivant une équation polynomiale d'ordre 3.

9. Procédé d'estimation de la dérive dans le temps d'un paramètre physique de fonctionnement d'une horloge de datation d'échantillons de
15 données sismiques associée à un nœud de collecte de données sismiques, dans lequel :

on mesure (10) au moins une grandeur associée à ladite horloge, à des instants prédéterminés ou pendant des périodes de temps prédéterminées ; et

20 on applique (12) à ladite grandeur une loi prédéterminée non linéaire de variation de ladite grandeur qui dépend des valeurs recueillies lors de ladite étape (10) de mesure, de façon à obtenir une estimation de la dérive dans le temps dudit paramètre physique,

25 ledit procédé étant caractérisé en ce que lors de ladite étape (10) de mesure, on mesure (300) l'erreur accumulée de phase de ladite horloge pendant une période de temps correspondant à une mission simulée de collecte de données sismiques et en ce que suivant ladite loi prédéterminée, la phase de ladite horloge varie suivant une équation polynomiale d'ordre 3.

10. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit nœud est adapté à une utilisation sur fond marin.
- 5 11. Système d'estimation de la dérive dans le temps d'un paramètre physique de fonctionnement d'une horloge de datation d'échantillons de données sismiques associée à un nœud de collecte de données sismiques, caractérisé en ce qu'il comporte un module adapté à mettre en œuvre des étapes d'un procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes.

1/2

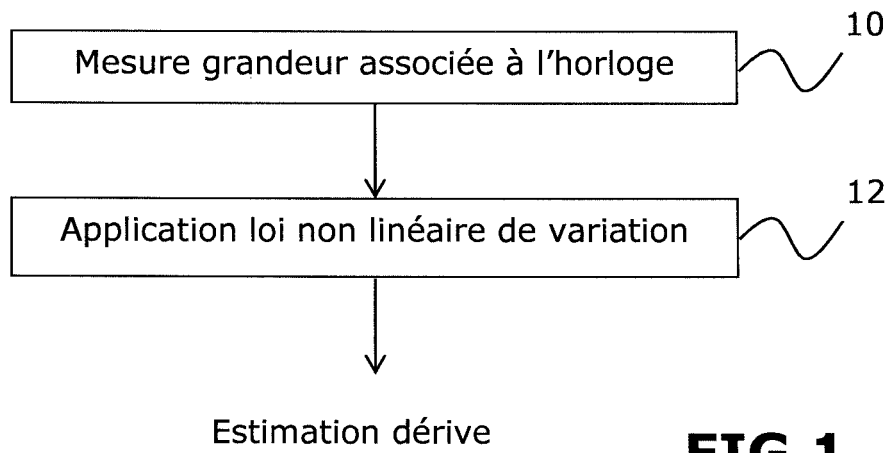


FIG.1

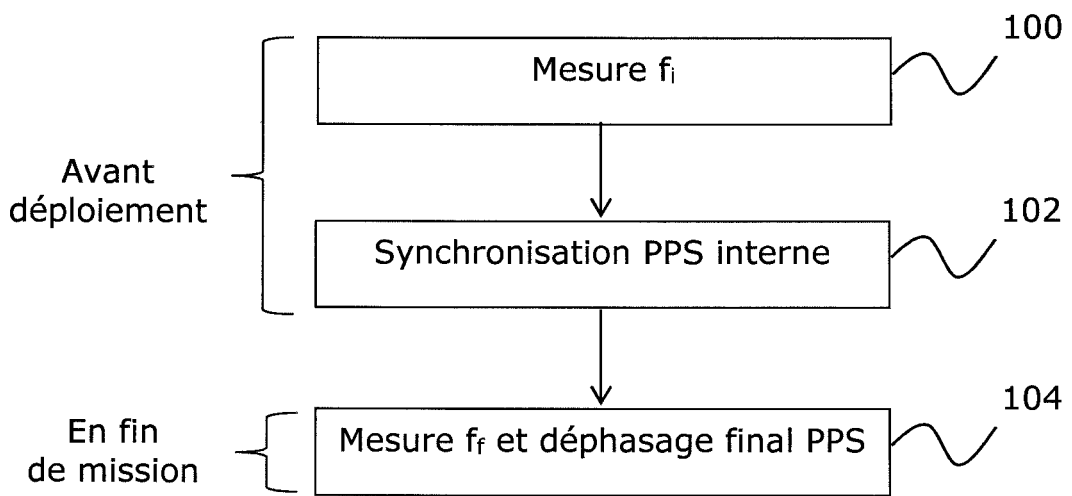


FIG.2

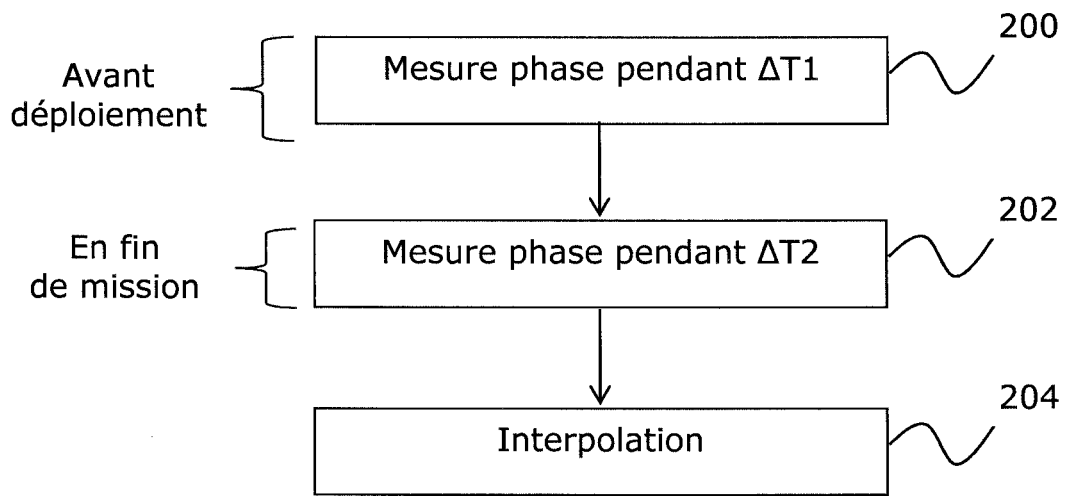


FIG.3

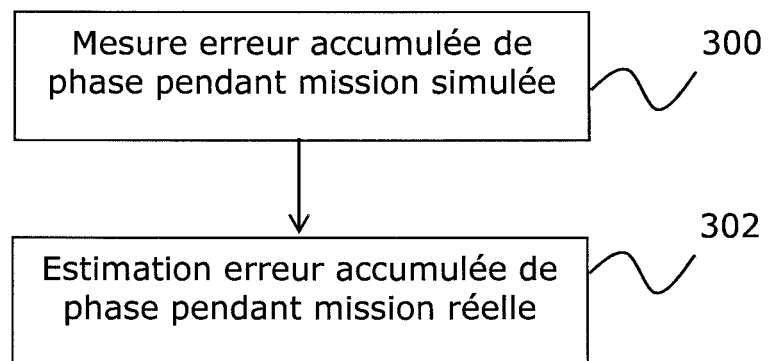


FIG.4

RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN
CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

EP 2 525 240 A2 (SONARDYNE INTERNAT LTD
[GB]) 21 novembre 2012 (2012-11-21)

US 9 417 359 B2 (MAGSEIS AS [NO])
16 août 2016 (2016-08-16)

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN
TECHNOLOGIQUE GENERAL**

NEANT

**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND
DE LA VALIDITE DES PRIORITES**

NEANT