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

(19) Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle
Bureau international

(43) Date de la publication internationale
25 juin 2020 (25.06.2020)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2020/127739 A1

(51) Classification internationale des brevets :
H04B 17/20 (2015.01) *G01S 3/46* (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2019/086317

(22) Date de dépôt international :
19 décembre 2019 (19.12.2019)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1873506 20 décembre 2018 (20.12.2018) FR

(71) Déposant : **THALES** [FR/FR] ; Tour Carpe Diem Place des Corolles Esplanade Nord, 92400 COURBEVOIE (FR).

(72) Inventeurs : **ENDERLI, Cyrille** ; C/O THALES Systèmes Aéroportés SAS 2, avenue Gay-Lussac, 78990 ELANCOURT (FR). **DEFOUR, Martin** ; C/O THALES Systèmes Aéroportés SAS 2, avenue Gay-Lussac, 78990 ELANCOURT (FR). **SEUTE, Hugo** ; C/O THALES Systèmes Aéroportés SAS 2, avenue Gay-Lussac, 78990 ELANCOURT (FR).

(74) Mandataire : **BLOT, Philippe** et al. ; Lavoix, 2, place d'Estienne d'Orves, 75441 PARIS CEDEX 09 (FR).

(81) États désignés *(sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible)* : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG,

(54) **Title:** METHOD FOR ANALYZING AN INCIDENT SIGNAL, ASSOCIATED DEVICE AND PLATFORM

(54) **Titre :** PROCÉDÉ D'ANALYSE D'UN SIGNAL INCIDENT, DISPOSITIF ET PLATE-FORME ASSOCIÉS

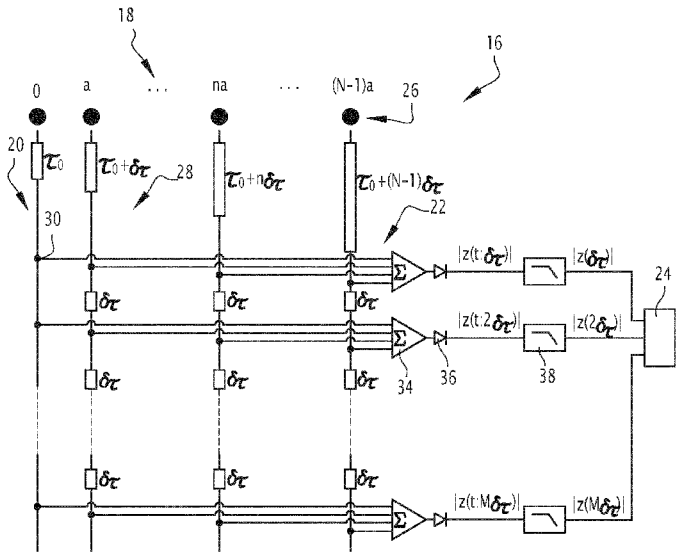


FIG.2

(57) **Abstract:** The present invention relates to a method for analyzing properties of an incident signal by an analysis device comprising an antenna network comprising N linearly spaced antennas, the method comprising a step of: - receiving the incident signal by the N antennas, - shifting each signal received by a value of N times the same increment, in order to obtain shifted samples, - calculating the summation of the shifted samples in order to obtain a summation signal for the increment in question, the summation signal being the product of the value of the envelope at the value of the increment and of a modulation, and - extracting the value of the envelope at the value of the increment, the steps of shifting, calculating and extracting being reiterated for several increments, and - estimating a property of the incident signal by using the different extracted values of the envelope.

[Suite sur la page suivante]

WO 2020/127739 A1

MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) **États désignés** *(sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible)* : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée:

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

(57) Abrégé : La présente invention concerne un procédé d'analyse des propriétés d'un signal incident par un dispositif d'analyse comportant un réseau antennaire comportant N antennes linéairement espacées, le procédé comporte une étape de : - réception du signal incident par les N antennes, - décalage de chaque signal reçu d'une valeur de N fois le même incrément, pour obtenir des échantillons décalés, - calcul de la sommation des échantillons décalés, pour obtenir un signal de sommation pour l'incrément considéré, le signal de sommation étant le produit de la valeur de l'enveloppe à la valeur de l'incrément et d'une modulation, et - extraction de la valeur de l'enveloppe à la valeur de l'incrément, les étapes de décalage, de calcul et d'extraction étant réitérées pour plusieurs incréments, et - estimation d'une propriété du signal incident en utilisant les différentes valeurs de l'enveloppe extraites.

TITRE : Procédé d'analyse d'un signal incident, dispositif et plate-forme associés

La présente invention concerne un procédé d'analyse des propriétés d'un signal incident. La présente invention se rapporte aussi à un dispositif d'analyse et à une plate-forme associés.

Dans le domaine de l'écoute passive très large bande des signaux radioélectriques, typiquement entre 2 GigaHertz (GHz) et 20 GHz, on cherche à obtenir la mesure simultanée de la fréquence et de la direction d'arrivée d'un signal avec un récepteur à échantillonnage temporel direct ne respectant pas le critère de Shannon, tout en minimisant la charge de calculs. Il est également souhaitable que la mesure soit robuste en cas d'erreurs entre les fréquences d'échantillonnage spécifiées et les fréquences d'échantillonnage réellement implantées.

Il est, en particulier, connu du document L.-J. Ge et al., "*Simultaneous Frequency and Direction Estimation from Parallel Array Data*", IEE Proc. Radar, Sonar Navig., 142(1), pp.6-10, 1995 un procédé permettant l'estimation simultanée de la fréquence et de la direction de l'arrivée de multiples sources à bande étroite. Basées sur des techniques d'invariance par rotation, les estimations conjointes sont calculées directement par un traitement de données approprié.

Toutefois, La charge de calcul reste relativement importante surtout avec un grand nombre d'éléments rayonnant, et les performances sont limitées à des fréquences assez basses, rendant l'approche mal adaptée au contexte de l'écoute large bande.

Il existe donc un besoin pour un procédé d'analyse permettant d'obtenir simultanément la fréquence et de la direction d'arrivée d'un signal large bande avec un récepteur à échantillonnage temporel direct ne respectant pas le critère de Shannon impliquant moins de calculs et présentant une bonne robustesse.

Pour cela, la présente description porte sur un procédé d'analyse des propriétés d'un signal incident par un dispositif d'analyse comportant un réseau antennaire comportant N antennes linéairement espacées, chaque antenne étant repérée par un indice n, l'indice n étant un entier compris entre 0 et N-1, le procédé comportant une étape de réception du signal incident par les N antennes, une étape de décalage de chaque signal reçu d'une valeur de n fois le même incrément, pour obtenir des échantillons décalés, une étape de calcul de la sommation des échantillons décalés, pour obtenir un signal de sommation pour l'incrément considéré, le signal de sommation étant le produit de la valeur de l'enveloppe à la valeur de l'incrément et d'une modulation. Le

procédé comporte, également, une étape d'extraction de la valeur de l'enveloppe à la valeur de l'incrément, les étapes de décalage, de calcul et d'extraction étant réitérées pour plusieurs incréments. Le procédé comporte aussi une étape d'estimation d'une propriété du signal incident en utilisant les différentes valeurs de l'enveloppe extraites.

Suivant des modes de réalisation particuliers, le procédé comprend une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prise(s) isolément ou suivant toutes les combinaisons techniquement possibles :

- l'incrément est identique à chaque itération.
- l'étape d'extraction comporte un redressement suivi d'un filtrage passe-bas pour obtenir la valeur absolue de l'enveloppe pour l'incrément.
- l'enveloppe présente une succession de maxima locaux et, lors de l'étape d'estimation, il est déterminé la position du premier maximum local de l'enveloppe, la position du premier maximum local étant utilisée pour estimer la direction d'arrivée du signal incident.
- l'enveloppe présente une période, la période étant l'intervalle entre deux maxima absolus successifs et dans lequel, lors de l'étape d'estimation, il est déterminé la période de l'enveloppe, la période étant utilisée pour estimer la fréquence du signal incident.

La présente description décrit également un dispositif d'analyse des propriétés d'un signal incident, le dispositif d'analyse comportant un réseau antennaire comportant N antennes linéairement espacées, le dispositif d'analyse étant propre à recevoir un signal incident par les N antennes, chaque antenne étant repérée par un indice n, l'indice n étant un entier compris entre 0 et N-1. Le dispositif d'analyse est également propre à, pour plusieurs incréments, décaler chaque signal reçu d'une valeur de n fois le même incrément, pour obtenir des échantillons décalés, calculer la sommation des échantillons décalés, pour obtenir un signal de sommation pour l'incrément considéré, le signal de sommation étant le produit de la valeur de l'enveloppe à la valeur de l'incrément et d'une modulation, et extraire la valeur de l'enveloppe à la valeur de l'incrément. Le dispositif d'analyse est aussi propre à estimer une propriété du signal incident en utilisant les différentes valeurs de l'enveloppe extraites.

Suivant des modes de réalisation particuliers, le dispositif d'analyse comprend une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prise(s) isolément ou suivant toutes les combinaisons techniquement possibles :

- le dispositif est un dispositif numérique.
- le dispositif est un dispositif analogique.

La présente description décrit également une plate-forme comportant un dispositif d'analyse d'un signal tel que précédemment décrit.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description qui suit, de modes de réalisation de l'invention, donnée à titre d'exemple uniquement et en référence aux dessins qui sont :

- [Fig 1] figure 1, une représentation schématique d'une plate-forme comprenant un dispositif d'analyse d'un signal ;
- [Fig 2] figure 2, une vue schématique d'un exemple de dispositif d'analyse de la figure 1 ;
- [Fig 3] figure 3, une représentation schématique d'une enveloppe de signal obtenu par le dispositif d'analyse, et
- [Fig 4] figure 4, une vue schématique d'un exemple de dispositif d'analyse de la figure 1.

Une plate-forme 10 est représentée schématiquement sur la figure 1.

La plate-forme 10 est, par exemple, un véhicule.

Selon l'exemple proposé, la plate-forme est un aéronef.

La plate-forme 10 comporte des systèmes 14 fonctionnant en temps réel assurant le fonctionnement de la plate-forme 10.

Trois systèmes en temps réel 14 sont représentés sur la figure 1.

Pour la suite, il est supposé qu'un des systèmes en temps réel est un dispositif d'analyse de signal 16.

Le dispositif d'analyse 16 est propre à analyser les propriétés d'un signal incident.

Plus précisément, le dispositif d'analyse 16 est propre à mesurer simultanément la fréquence d'un signal incident dans une plage de fréquences prédéterminée et la direction d'arrivée du même signal incident.

Le dispositif d'analyse 16 est adapté pour un signal présentant une bande spectrale supérieure ou égale à 10 GigaHertz (GHz).

Un signal présentant une bande spectrale supérieure ou égale à 10 GHz est considéré comme un signal large bande.

Le dispositif d'analyse 16 comporte un réseau antennaire 18, des voies de traitement 20, un circuit de calcul 22 et un calculateur 24.

Le réseau antennaire 18 est un réseau linéaire.

Le réseau antennaire 18 comporte N antennes 26.

N est un nombre entier, notamment un nombre entier supérieur ou égal à 10.

Chaque antenne 26 est repérée par un indice n.

L'indice n est un entier compris entre 0 et N-1.

Les antennes 26 sont régulièrement espacées d'un espacement noté a.

Sur la figure 2, de manière schématique, *na* désigne la position de la (n+1)-ème antenne 26 avec par convention une origine des distances située sur l'antenne 16 la plus à gauche du réseau antennaire 18.

Chaque antenne 26 est reliée à une voie de traitement 20 spécifique.

Chaque voie de traitement 20 est repérée par le même indice n que l'antenne 26 à laquelle la voie de traitement 20 est reliée.

Chaque voie de traitement 20 comporte M jeux de lignes à retard 28 successifs, chaque jeu de lignes à retard 28 étant relié par un point de prélèvement 30 de sorte que chaque voie de traitement 20 comporte M voies de prélèvement 30.

Le premier jeu de lignes à retard 28 situé derrière les voies de traitement 20 présente une augmentation affine avec l'indice de la voie de traitement 20 du retard introduit par incrément d'une quantité $\delta\tau$.

M est un nombre entier strictement supérieur à 1.

Le circuit de calcul 22 comporte M sommateurs 34 suivi chacun d'un redresseur 36 et un filtre passe-bas 38.

Le i-ième sommateur 34 est propre à effectuer la somme des signaux prélevés sur chaque i-ième point de prélèvement 30 d'une voie de traitement 20.

Le calculateur 24 est propre à obtenir les signaux en sortie de chaque filtre passe-bas 38 pour estimer la direction d'arrivée et la fréquence du signal incident.

Le fonctionnement du dispositif 16 est maintenant décrit en référence à un exemple de mise en œuvre d'un procédé d'analyse des propriétés d'un signal incident.

Le procédé comporte une étape de réception, une étape de décalage, une étape de calcul et une étape d'estimation.

Il est supposé qu'une source émet un signal à fréquence supposée fixe pendant un temps d'analyse.

Lors de l'étape de réception, chaque antenne 26 reçoit un signal.

Le signal réel reçu sur la *n*-ième antenne, s'écrit, avec une amplitude S :

$$s_n(t) = S\cos[\omega t + kna\sin\theta + \phi_0]$$

Avec

- ϕ_0 est une phase quelconque,
- θ désigne l'angle d'arrivée du signal,
- ω désigne la pulsation du signal liée à sa fréquence ν *via* la relation $\omega=2\pi\nu$, et

• k désigne le nombre d'onde lié à la longueur d'onde λ *via* la relation $k = \frac{2\pi}{\lambda}$.

Lors de l'étape de décalage, chaque signal est décalé d'une valeur de n fois le même incrément.

Autrement formulé, le décalage ou le retard augmente linéairement avec l'indice de la voie.

Il vient ainsi que l'échantillon de la n-ième voie s'exprime comme :

$$s_n(t - \tau_0 - n.\delta\tau) = S\cos[\omega(t - \tau_0 - n\delta\tau) + kna\sin\theta + \phi_0]$$

où τ_0 désigne une valeur initiale de retard et $\delta\tau$ l'incrément.

Un tel décalage est donc un décalage temporel.

A l'issue de l'étape de décalage, il est obtenu des échantillons décalés sur chacune des N voies, le décalage étant spécifique de l'indice de la voie.

Lors de l'étape de calcul, il est effectué une sommation de chacun des échantillons décalés à l'aide du sommateur. Il est ainsi obtenu :

$$z(t;\delta\tau) = \sum_{n=0}^{N} s_n(t - \tau_0 - n\delta\tau)$$

En tenant compte de la relation $\omega = kc = \frac{2\pi}{\lambda}c$ et en posant l'amplitude S=1, il vient après calcul :

$$z(t;\delta\tau) = \frac{\sin\left[N\frac{\pi}{\lambda}(c\delta\tau - a\sin\theta)\right]}{\sin\left[\frac{\pi}{\lambda}(c\delta\tau - a\sin\theta)\right]}.\cos\left[\omega t + \phi_1 - \omega\tau_0 - \frac{N-1}{2}\omega\delta\tau\right]$$

Où $\phi_1 = \phi_0 + \frac{(N-1)}{2}ka\sin\theta$.

Il apparaît que le signal de sommation z(t ; $\delta\tau$) est le produit d'une valeur d'une enveloppe Z à la valeur de l'incrément $\delta\tau$ et d'une modulation M(t ; $\delta\tau$).

L'enveloppe Z est un noyau de Dirichlet dont l'expression à la valeur de l'incrément $\delta\tau$ est donnée par :

$$Z(\delta\tau) = \frac{\sin\left[N\frac{\pi}{\lambda}(c\delta\tau - a\sin\theta)\right]}{\sin\left[\frac{\pi}{\lambda}(c\delta\tau - a\sin\theta)\right]}$$

La modulation M(t ; $\delta\tau$) est une modulation de type sinusoïdale pouvant s'écrire comme :

$$M(t;\delta\tau) = \cos\left[\omega t + \phi_1 - \omega\tau_0 - \frac{N-1}{2}\omega\delta\tau\right]$$

A l'issue de l'étape de calcul, il est ainsi obtenu un signal de sommation.

Lors de l'étape d'extraction, il est extrait la valeur de l'enveloppe Z pour l'incrément $\delta\tau$.

Cela signifie que la modulation $M(t;\delta\tau)$ est éliminée.

Dans l'implémentation analogique de la figure 2, l'extraction est effectuée par une opération de redressement suivie d'une opération de filtrage passe-bas.

Il est ainsi obtenu la valeur absolue de l'enveloppe Z pour l'incrément $\delta\tau$.

Les étapes de décalage, de calcul et d'extraction sont ensuite réitérées pour plusieurs incréments.

Selon l'exemple de la figure 2, M valeurs d'une enveloppe Z sont ainsi obtenues, d'abord Z($\delta\tau$), puis Z(2* $\delta\tau$) et ainsi de suite jusqu'à Z(M* $\delta\tau$).

Lors de l'étape d'estimation, il est estimé au moins une propriété du signal incident. Dans l'exemple décrit, les propriétés sont la fréquence et la direction d'arrivée du signal incident.

Chaque propriété est obtenue par analyse de l'enveloppe.

Pour cela, il est utilisé le fait que l'enveloppe présente une suite de maxima locaux périodiques.

Pour mieux comprendre comment les propriétés visées sont obtenues, il convient de se référer à la figure 3.

La figure 3 est un graphe présentant l'évolution de l'enveloppe Z en fonction de l'incrément noté τ pour une valeur de θ = 15°, λ = 3 cm et N = 20.

La largeur des maxima locaux est donnée par $L = \frac{2\lambda}{Nc}$ (soit $\frac{\lambda}{Nc}$ à 3dB) et la périodicité des maxima locaux est $\Delta\tau = \frac{\lambda}{c}$.

Une mesure $\widehat{\Delta}$ de l'espacement entre les maxima locaux de l'enveloppe Z permet une mesure $\hat{\lambda}$ de la longueur d'onde du signal reçu via $\hat{\lambda} = c\widehat{\Delta\tau}$.

Cela permet ainsi d'obtenir la fréquence du signal incident.

Par ailleurs, la position du premier maximum de l'enveloppe Z peut fournir une mesure de l'angle puisque les maxima locaux sont obtenus aux points $\tau = \frac{a\sin\theta}{c}$ modulo $\Delta\tau$, sous réserve que l'ambiguïté $\Delta\tau$ soit supérieure à l'intervalle de valeurs de τ attendues pour une plage d'angles [θ_{min}, θ_{max}].

Cette condition correspond au fait que l'espacement a du réseau d'antennes vérifie $a < \lambda_{min}/2$ pour θ variant de $-\pi/2$ à $+\pi/2$.

Dans ces conditions, la position estimée $\hat{\tau}_*$ du premier maximum de l'enveloppe Zdonne une estimation de l'angle d'arrivée du signal incident via $\sin\hat{\theta} = \frac{c\hat{\tau}_*}{a}$.

En résumé, la détermination de la position du maximum absolu de l'enveloppe Z permet d'estimer l'angle d'arrivée du signal incident tandis que la détermination de la

période entre deux maxima locaux successifs de l'enveloppe Z permet d'estimer la fréquence du signal incident.

Dans l'exemple proposé, la valeur de l'incrément $\delta\tau$ est choisie de façon à échantillonner convenablement l'enveloppe Z, ce qui revient à obtenir au moins une valeur de l'enveloppe Z pour avoir au moins un échantillon par ouverture à 3 dB des lobes de l'enveloppe.

Similairement, le nombre M est choisi pour avoir au moins une période de l'enveloppe à l'angle d'arrivée maximal, c'est à dire tel que $M\delta_\tau \geq \frac{2\lambda_{\max}-a}{c}$.

Avec de telles valeurs, le procédé permet d'estimer la fréquence et l'angle d'arrivée du signal incident.

Le procédé effectue un parallèle original avec la diffraction optique, conduisant à un dispositif d'analyse spécifique de très faible charge calculatoire permettant d'estimer conjointement l'angle d'arrivée et la fréquence d'un signal.

Autrement formulé, le procédé d'analyse permet d'obtenir simultanément la fréquence et de la direction d'arrivée d'un signal large bande avec un récepteur à échantillonnage temporel direct ne respectant pas le critère de Shannon impliquant moins de calculs et présentant une bonne robustesse.

Selon une variante, le procédé est mis en œuvre de manière numérique à l'aide du dispositif d'analyse représenté sur la figure 4.

Chaque voie de traitement 20 comporte un échantillonneur 40 propre à échantillonner un signal incident à une fréquence d'échantillonnage correspondant à une période d'échantillonnage.

Dans l'exemple proposé, la période d'échantillonnage $T_{e,i}$ de la i-ième voie est décalée de $i*\delta_\tau$ par rapport à la période de la première voie de traitement 20.

Autrement formulé, les périodes d'échantillonnage vérifient :

$$T_{e,n} = T_{e,0} + n\delta_\tau \ , \ n = 0 \dots N-1$$

Dans un tel cas, l'étape de décalage est réalisée par échantillonnage par chaque échantillonneur 40 pour obtenir des échantillons sur chaque voie de traitement 20.

Les échantillons obtenus correspondent à la réalisation d'un échantillonnage temporel sub-Nyquist du signal, toutes les voies de traitement 20 enregistrant un même nombre d'échantillons temporels.

Lors de l'étape de sommation, à la première itération, tous les premiers échantillons de chaque voie de traitement 20 sont sommés dans une première voie de sortie 42 à l'aide d'un sommateur 44.

Puis, à la deuxième itération, les deuxièmes échantillons de chaque voie de traitement 20 sont sommés dans une deuxième voie de sortie 42 à l'aide d'un autre sommateur 44.

Et ainsi de suite jusqu'aux M-ièmes échantillons sommés sur une M-ième voie de sortie 42.

L'étape d'extraction est menée par application d'une valeur absolue (voir rectangle 46) suivie d'un filtrage numérique 48.

Il est ainsi obtenu sur la première voie de sortie 42 un premier échantillon z_0, sur la deuxième voie de sortie 42 un deuxième échantillon z_1, et ainsi de suite jusqu'à la M-ième voie de sortie 42 sur laquelle est obtenue un M-ième échantillon z_{M-1}.

Le calcul montre que chaque échantillon s'écrit :

$$z_m = \frac{\sin\left[N\pi\frac{a}{\lambda}(mQ - \sin\theta)\right]}{\sin\left[\pi\frac{a}{\lambda}(mQ - \sin\theta)\right]}\cos\left[\phi_1 + 2\pi\frac{a}{\lambda}m\left(Q_0 + \frac{(N-1)}{2}Q\right)\right] \quad , \qquad m = 0 \ldots M-1 \, ,$$

Où $Q = \frac{c\delta_\tau}{a}$ et $Q_0 = \frac{cT_{e,0}}{a}$.

Il peut être observé que la forme des échantillons est identique au cas analogique, Aussi, comme précédemment, l'analyse de l'enveloppe permet d'obtenir des estimations de la fréquence et de la direction d'arrivée du signal.

Dans le cas de la figure 4, les échantillons de signal produits sont alors traités de manière particulièrement économique en charge de calcul, dans le sens où tous les premiers échantillons de N voies sont sommés pour former une première voie de sortie, tous les deuxièmes échantillons des N voies sont sommés pour former une deuxième voie de sortie, etc. jusqu'à former une M-ième voie de sortie.

Il est à noter qu'une telle économie de calcul peut être favorisée par un choix de la fréquence d'échantillonnage maximale ($1/T_{e,0}$ dans la première voie) la plus grande possible et une valeur de Q la plus faible possible.

D'autres configurations du dispositif d'analyse 16 sont également envisageables.

En particulier, au lieu de l'échantillonnage en parallèle proposé en référence à la figure 4, l'échantillonnage peut être réalisé en série. Un échantillonnage en série consiste à prélever successivement des échantillons de signal retardés par rapport à un instant de référence dans une fenêtre d'analyse.

REVENDICATIONS

1. Procédé d'analyse des propriétés d'un signal incident par un dispositif d'analyse (16) comportant un réseau antennaire (18) comportant N antennes (26) linéairement espacées, chaque antenne (26) étant repérée par un indice n, l'indice n étant un entier compris entre 0 et N-1, le procédé comportant une étape de :
   - réception du signal incident par les N antennes,
   - décalage de chaque signal reçu d'une valeur de n fois le même incrément, pour obtenir des échantillons décalés,
   - calcul de la sommation des échantillons décalés, pour obtenir un signal de sommation pour l'incrément considéré, le signal de sommation étant le produit de la valeur d'une enveloppe à la valeur de l'incrément et d'une modulation, et
   - extraction de la valeur de l'enveloppe à la valeur de l'incrément,

   les étapes de décalage, de calcul et d'extraction étant réitérées pour plusieurs incréments, et
   - estimation d'une propriété du signal incident en utilisant les différentes valeurs de l'enveloppe extraites.

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel l'incrément est identique à chaque itération.

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, dans lequel l'étape d'extraction comporte un redressement suivi d'un filtrage passe-bas pour obtenir la valeur absolue de l'enveloppe pour l'incrément.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel l'enveloppe présente une succession de maxima locaux et dans lequel, lors de l'étape d'estimation, il est déterminé la position du premier maximum local de l'enveloppe, la position du premier maximum local étant utilisée pour estimer la direction d'arrivée du signal incident.

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel, l'enveloppe présente une période, la période étant l'intervalle entre deux maxima absolus successifs et dans lequel, lors de l'étape d'estimation, il

est déterminé la période de l'enveloppe, la période étant utilisée pour estimer la fréquence du signal incident.

6. Dispositif d'analyse (16) des propriétés d'un signal incident, le dispositif d'analyse (16) comportant un réseau antennaire (18) comportant N antennes (26) linéairement espacées, chaque antenne (26) étant repérée par un indice n, l'indice n étant un entier compris entre 0 et N-1, le dispositif d'analyse (16) étant propre à :

- recevoir un signal incident par les N antennes,
- pour plusieurs incréments :
  - décaler chaque signal reçu d'une valeur de n fois le même incrément, pour obtenir des échantillons décalés,
  - calculer la sommation des échantillons décalés, pour obtenir un signal de sommation pour l'incrément considéré, le signal de sommation étant le produit de la valeur d'une enveloppe à la valeur de l'incrément et d'une modulation, et
  - extraire la valeur de l'enveloppe à la valeur de l'incrément,
- estimer une propriété du signal incident en utilisant les différentes valeurs de l'enveloppe extraites.

7. Dispositif d'analyse selon la revendication 6, dans lequel le dispositif d'analyse (16) est un dispositif numérique.

8. Dispositif d'analyse selon la revendication 6, dans lequel le dispositif d'analyse (16) est un dispositif analogique.

9. Plate-forme (10) comportant un dispositif d'analyse d'un signal (16) selon l'une quelconque des revendications 6 à 8.

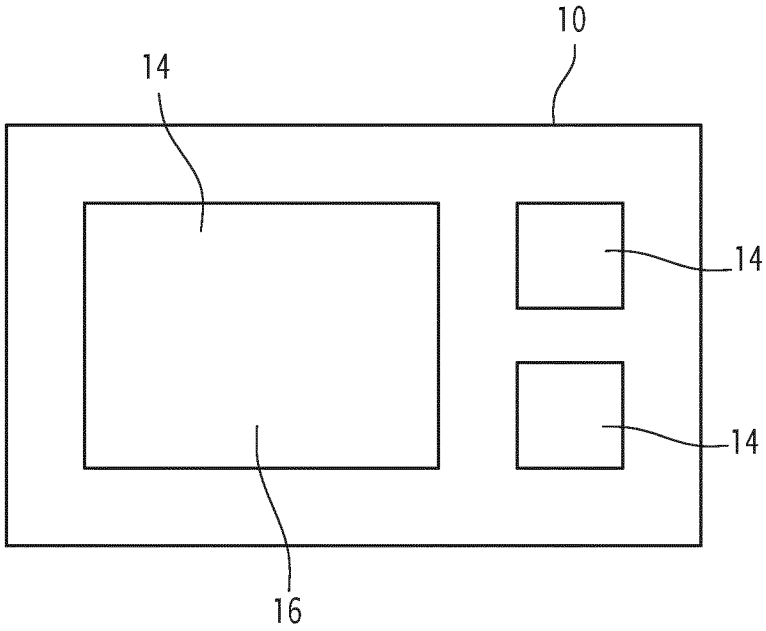


FIG.1

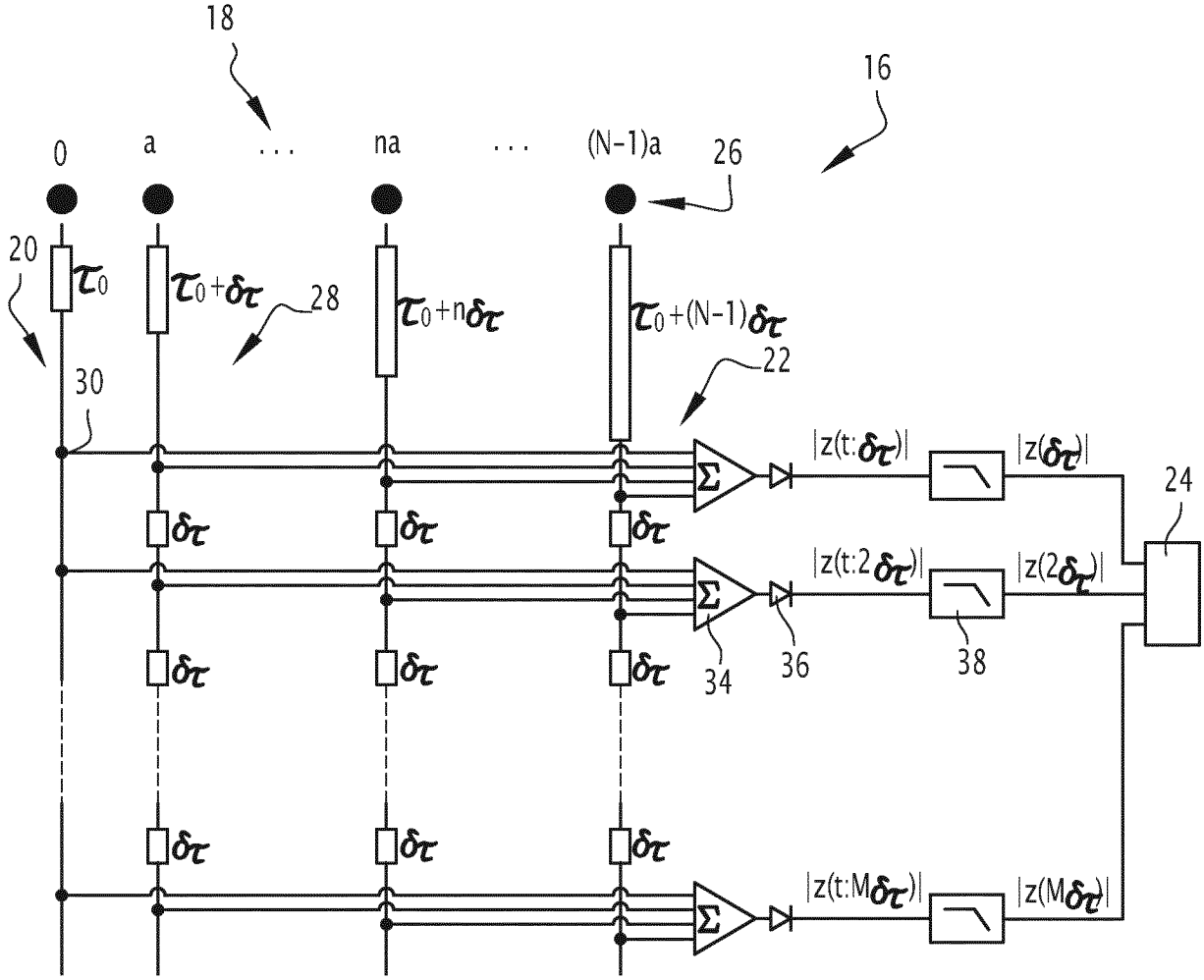

18
16
0
a
...
na
...
(N-1)a
26
20
τ_0
$\tau_0+\delta\tau$
28
$\tau_0+n\delta\tau$
$\tau_0+(N-1)\delta\tau$
22
30
$\delta\tau$
$|z(t:\delta\tau)|$
$|z(\delta\tau)|$
24
$|z(t:2\delta\tau)|$
$|z(2\delta\tau)|$
34
36
38
$|z(t:M\delta\tau)|$
$|z(M\delta\tau)|$

FIG.2

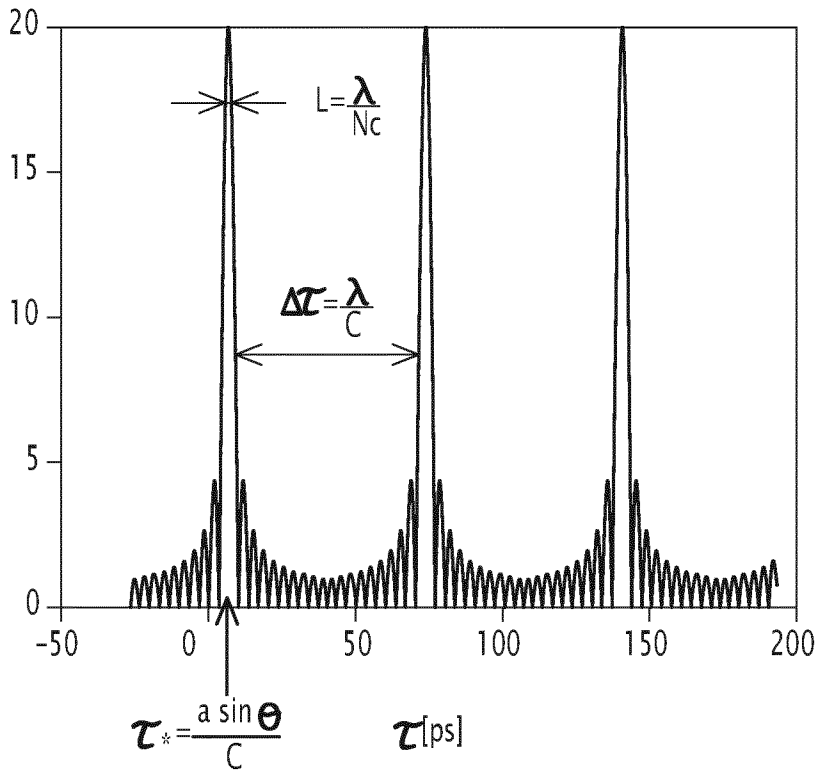


FIG.3

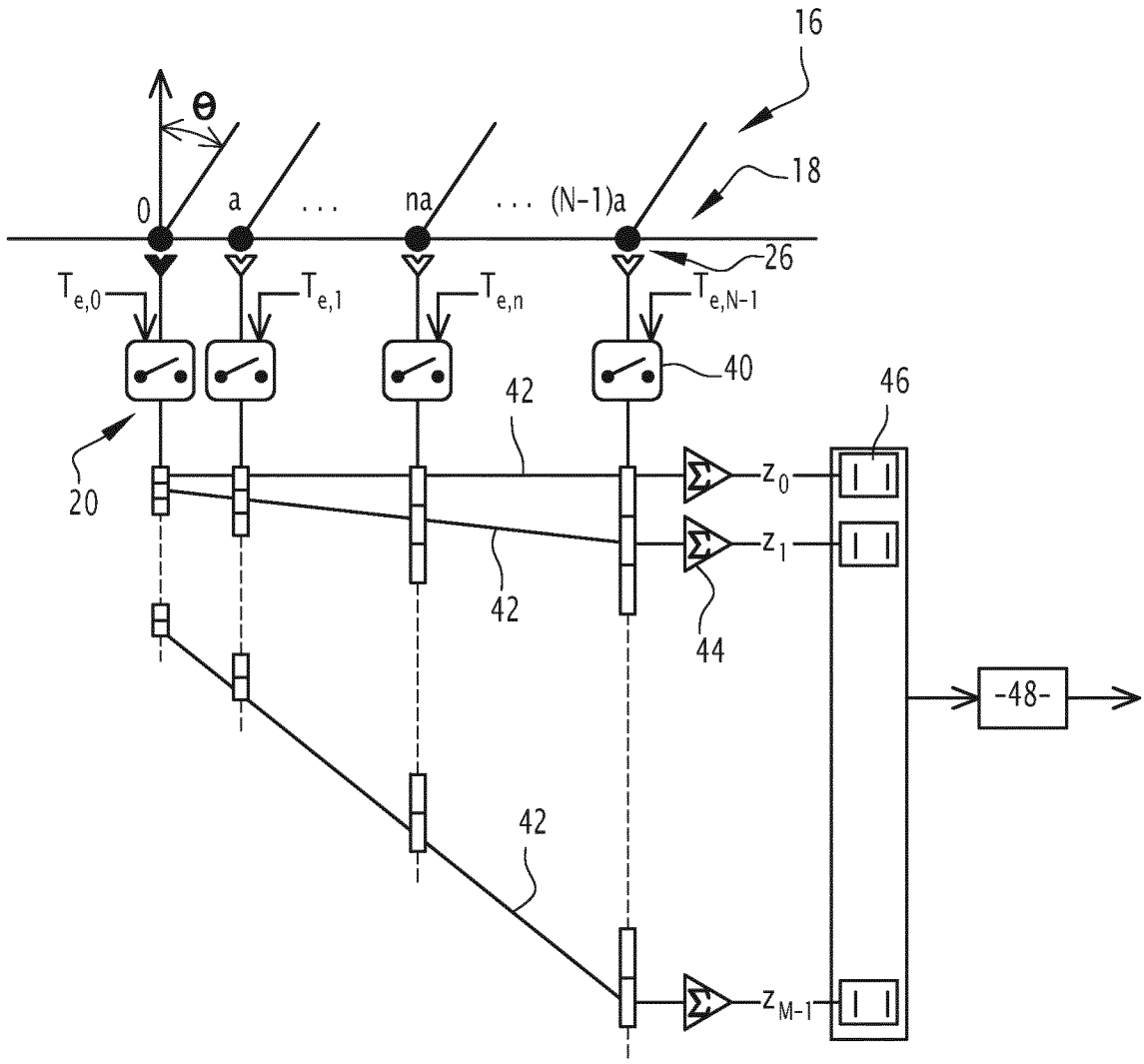

16
θ
18
0
a
...
na
... (N-1)a
26
$T_{e,0}$
$T_{e,1}$
$T_{e,n}$
$T_{e,N-1}$
40
42
46
20
z_0
z_1
42
44
-48-
42
z_{M-1}

FIG.4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/EP2019/086317

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04B 17/20(2015.01)i; ***G01S 3/46***(2006.01)i

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H04B; G01S

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

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

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	XU LE ET AL. "Joint Two-Dimensional DOA and Frequency Estimation for L-Shaped Array via Compressed Sensing PARAFAC Method" *IEEE ACCESS*, Vol. 6, 25 June 2018 (2018-06-25), pages 37204-37213 DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2850307 XP011687442 abstract page 37205, right-hand column, paragraph 2 - page 37206, right-hand column, paragraph 1 figure 2	1-9
A	ZHAN ZHANG ET AL. "Joint Estimation of DOA and Frequency with Sub-Nyquist Sampling in a Binary Array Radar System" *ARXIV.ORG, CORNELL UNIVERSITY LIBRARY, 201 OLIN LIBRARY CORNELL UNIVERSITY ITHACA, NY 14853,* 26 October 2018 (2018-10-26), XP080928310 abstract section II to section III inclusive; pages 2-4 figures 1,2	1-9

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
09 March 2020	**16 March 2020**
Name and mailing address of the ISA/EP **European Patent Office** **p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk** **Netherlands** Telephone No. **(+31-70)340-2040** Facsimile No. **(+31-70)340-3016**	Authorized officer **Yang, Betty** Telephone No.

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°
PCT/EP2019/086317

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
INV. H04B17/20 G01S3/46
ADD.

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)
H04B G01S

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)
EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	XU LE ET AL: "Joint Two-Dimensional DOA and Frequency Estimation for L-Shaped Array via Compressed Sensing PARAFAC Method", IEEE ACCESS, vol. 6, 25 juin 2018 (2018-06-25), pages 37204-37213, XP011687442, DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2850307 abrégé page 37205, colonne de droite, alinéa 2 - page 37206, colonne de droite, alinéa 1 figure 2 ----- -/--	1-9

[X] Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

[ ] Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date

"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)

"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens

"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale
9 mars 2020	16/03/2020

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale	Fonctionnaire autorisé
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Yang, Betty

2

Formulaire PCT/ISA/210 (deuxième feuille) (avril 2005)

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	ZHAN ZHANG ET AL: "Joint Estimation of DOA and Frequency with Sub-Nyquist Sampling in a Binary Array Radar System", ARXIV.ORG, CORNELL UNIVERSITY LIBRARY, 201 OLIN LIBRARY CORNELL UNIVERSITY ITHACA, NY 14853, 26 octobre 2018 (2018-10-26), XP080928310, abrégé Section II à section III inclus; pages 2-4 figures 1,2 -----	1-9