

# DEMANDE DE BREVET EN FRANCE

déposée le 24 OCTOBRE 1997

Sous le N° d'Enregistrement National 97 13379

AU NOM DE : SEXTANT Avionique

Avec l'intitulé : PROCÉDE DE FILTRAGE ADAPTATIF

Invention de : Alain RENARD  
René LANDRY

Références du Groupe Thomson (SCPI) : 60 652

X 6920/P288 - SEXTANT/NAV

Rédaction pour SCPI : Cabinet GRYNWALD

---

Service Central de Propriété Industrielle (SCPI) du Groupe Thomson  
Adresse postale : 13, Avenue du Président Salvador Allende  
94 117 ARCUEIL CEDEX

### PROCÉDÉ DE FILTRAGE ADAPTATIF

L'invention est relative à un procédé de filtrage adaptatif, à un système de filtrage et à un filtre pour un tel système.

5 Dans ce qui suit, on décrira le procédé et le système de filtrage dans son application à l'élimination de brouilleurs d'un signal GPS. Toutefois, l'invention n'est pas limitée à cette application.

On rappelle, ici, que le système de navigation GPS (Global Positionning System) consiste en une constellation de  
10 satellites émettant des signaux permettant à un utilisateur, notamment un utilisateur disposant d'un récepteur GPS à bord d'un véhicule, de déterminer en temps réel sa position et, éventuellement, sa vitesse.

A cet effet, le récepteur GPS calcule la distance qui  
15 le sépare d'au moins trois satellites émettant un message à des instants connus, qui sont inclus dans le message émis par chaque satellite. La distance du récepteur à chaque satellite est déterminée par le produit de la vitesse de la lumière par la durée  
mise par le signal pour parcourir cette distance. Cette durée est  
20 égale à la différence entre l'instant de réception et l'instant d'émission.

La vitesse est déterminée par effet Doppler, c'est-à-dire par mesure de l'écart de la fréquence reçue par rapport à la fréquence d'émission de la porteuse du signal GPS.

On sait que le signal GPS est du type à spectre étalé, c'est-à-dire que le signal émis par chaque satellite subit une dilatation de sa largeur de bande grâce à une modulation pseudo-aléatoire. Bien entendu, à la réception, on effectue une compression grâce à la connaissance de la modulation pseudo-aléatoire. Ainsi, les bruits sont étalés sur la largeur de bande de transmission.

Les signaux GPS sont, avant décorrélation, noyés dans le bruit. Leur niveau est, au plus, égal à celui du bruit.

Dans ces conditions, un signal se trouvant dans la bande utile de fréquence, par exemple de 2 à 20 megahertz, et dont le niveau dépasse le niveau de bruit, est considéré comme un perturbateur ou brouilleur qu'il est nécessaire d'éliminer.

A cet effet, il est connu d'utiliser un filtre adaptatif de type à réponse impulsionnelle finie. Par "filtre adaptatif", on entend un filtre dont on peut faire varier la fréquence centrale, éventuellement la largeur de bande, et le coefficient d'atténuation.

Étant donné que les caractéristiques du perturbateur ne sont pas connues a priori et peuvent varier, le filtre est associé à un moyen de détection de perturbateurs ou brouilleurs. Ce moyen de détection agit sur les paramètres du filtre afin de l'adapter aux brouilleurs à éliminer.

Les études effectuées dans le cadre de l'invention ont montré que pour minimiser la dégradation du signal utile, c'est-à-dire du signal GPS, on a intérêt à limiter au strict nécessaire les bandes d'atténuation du filtre et donc à réaliser des fonctions de transfert avec des transitions rapides entre la bande passante et la bande coupée. Quand on utilise un filtre coupe-bande de type à réponse impulsionnelle finie, ces contraintes imposent l'utilisation d'environ 400 coefficients ou paramètres. En effet, on sait que le nombre de coefficients nécessaires pour

déterminer un filtre, et donc sa complexité, est proportionnel au rapport :

$$\frac{F_e}{\Delta_f}$$

5  $F_e$  étant la fréquence d'échantillonnage et  $\Delta_f$  la largeur de la bande de transition entre la bande passante et la bande à couper.

On comprend que plus le nombre de paramètres à régler pour un filtre est grand, plus ce filtre est difficile à réaliser et à commander en temps réel.

10 L'invention permet de remédier à cet inconvénient. Elle permet la réalisation d'un filtre de complexité sensiblement moins importante que les filtres connus.

15 Elle est caractérisée en ce que, pour effectuer le filtrage, on utilise au moins un filtre du type à réponse impulsionnelle infinie, de préférence un filtre à gabarit fixe, de fréquence centrale variable et, avantageusement, un filtre à encoche.

20 L'invention est basée sur la constatation que, pour un même gabarit de filtrage, le nombre de coefficients à déterminer pour effectuer un filtrage du type à réponse impulsionnelle infinie est nettement inférieur au nombre de coefficients qu'il est nécessaire de déterminer avec un filtrage à réponse impulsionnelle finie.

25 On a constaté que le filtre à encoche donnait les meilleurs résultats. Un filtre à encoche est un filtre coupe-bande dont la largeur de bande est très étroite. Les études menées dans le cadre de l'invention ont montré que ce type de filtre introduit une dégradation minimale sur un signal à spectre à bande étalée, notamment un signal GPS.

30 La structure du filtre à encoche est telle qu'elle satisfait à la relation suivante entre le signal de sortie  $Y_n$  et le signal d'entrée  $x_n$  :

$$(1) \quad Y_n = \sum_{K=0}^{K=\infty} A_K x_{n-K} + \sum_{K=0}^{K=\infty} B_K y_{n-K}$$

Dans cette relation, le coefficient  $n-K$  appliqué à  $x$  ou à  $y$  signifie que le signal  $x$  ou  $y$  correspond à  $K$  périodes antérieures, et les coefficients  $A_K$  et  $B_K$  sont des constantes.

D'excellents résultats sont obtenus avec une structure correspondant à la relation particulière ci-dessous :

$$(2) \quad Y_n = x_{n-2} + A_1 x_{n-1} + x_n + B_2 y_{n-2} + B_1 y_{n-1}$$

Cette structure est d'une grande simplicité et se prête aisément à une réalisation sous forme câblée.

On choisit, de préférence, les coefficients  $B_1$  et  $B_2$  de façon telle que :

$$(3) \quad B_1 = \alpha A_1, \text{ et} \\ B_2 = \alpha^2$$

Le coefficient  $\alpha$  détermine la largeur de bande du filtre à encoche, tandis que le coefficient  $A_1$  est lié à la fréquence. Si le coefficient  $\alpha$  a la valeur 1, la largeur de bande du filtre est infiniment petite et cette largeur augmente quand le coefficient  $\alpha$  s'éloigne de la valeur 1 par valeurs inférieures.

Dans un mode de réalisation préféré, on prévoit un moyen pour court-circuiter le filtre. De cette manière, le signal à transmettre ne risque pas d'être perturbé quand la présence du filtre n'est pas nécessaire en l'absence de brouilleur. Ce moyen de court-circuit est soit une dérivation, soit un moyen pour conférer une valeur infiniment petite à la largeur de la bande du filtre, par exemple en affectant la valeur 1 au coefficient  $\alpha$  dans le cas du filtre à encoche correspondant aux formules (2) et (3) ci-dessus.

Étant donné qu'un filtre à réponse impulsionnelle infinie, notamment un filtre à encoche présente une largeur étroite, en général un seul filtre ne suffit pas. C'est pourquoi, dans le mode de réalisation préféré, on prévoit au moins deux filtres en série, des moyens de commande et de détection choisissant les paramètres des filtres de façon à répartir leurs fréquences pour éliminer les brouilleurs de façon optimale.

Dans ce cas, pour simplifier la réalisation, il est préférable que les filtres soient tous identiques et présentent

une fréquence qui peut varier sur toute la bande utile. Également dans un but de simplification, le moyen de commande de chaque filtre est programmé pour que la largeur de bande de ce filtre ne puisse présenter qu'un nombre limité de valeurs.

5 Aussi pour simplifier, la profondeur, ou atténuation, du filtre peut être fixée, c'est-à-dire non réglable. Dans ce cas, pour éliminer un brouilleur puissant à une fréquence donnée, on utilise deux, ou plus, filtres en série à la même fréquence.

10 Ainsi, le procédé de filtrage consiste à faire converger les fréquences des filtres individuels vers une fréquence de brouillage à éliminer, le nombre de filtres qui convergent sur la fréquence à éliminer étant d'autant plus important que la largeur de bande et la puissance du brouilleur sont importantes.

15 Lorsque les fréquences des brouilleurs varient, par exemple quand un brouilleur disparaît, l'invention prévoit d'affecter le filtre ainsi laissé disponible à un autre brouilleur si nécessaire.

20 Quand on prévoit un ensemble de filtres, soit un moyen de détection des brouilleurs est affecté à chaque filtre, soit le moyen de détection est partagé entre tous les filtres.

25 Pour la détection des brouilleurs, divers procédés sont utilisables. A titre d'exemple, on citera la transformation de Fourier rapide (FFT), une auto-corrélation ou une inter-corrélation, c'est-à-dire une corrélation entre l'entrée et la sortie du filtre.

30 Pour cette détection des brouilleurs, on peut aussi, dans un mode de réalisation particulièrement simple et avantageux, utiliser une structure de filtrage de même fonction de transfert que le filtre actif, notamment à réponse impulsionnelle infinie, et qui comprend, d'une part, un filtre d'entrée dont la fonction de transfert est  $1/D(z)$ , et, d'autre part, un filtre de sortie dont la fonction de transfert est  $N(z)$ , l'entrée de ce filtre étant reliée à la sortie du filtre d'entrée.

35 Cette structure de filtrage est, par exemple, réalisée par logiciel dans un processeur. Elle est associée à un programme

d'évaluation qui fait varier le (ou les) pôle(s) du filtre d'entrée et qui détermine la puissance de son signal de sortie. Quand la fréquence d'un brouilleur correspond à un pôle de ce filtre d'entrée, le signal de sortie de ce dernier est à un niveau élevé (supérieur à un seuil prédéterminé) et, dans ces conditions, le programme choisit les paramètres du deuxième filtre pour éliminer le brouilleur, c'est-à-dire minimiser le signal en sortie du filtre  $N(z)$ .

Les paramètres de réglage des filtres  $1/D(z)$  et  $N(z)$  ainsi obtenus sont utilisés pour commander les paramètres des filtres actifs.

La largeur de bande de chaque structure de filtrage étant limitée, on dispose donc plusieurs structures de ce type en série pour déterminer la largeur de la bande de chaque brouilleur, si celle-ci est supérieure à la largeur de bande d'une structure unique.

La détermination des paramètres de la structure de filtrage est effectuée à l'aide d'un programme ou algorithme d'estimation classique, par exemple du type NLMS.

Cet algorithme comporte un ou plusieurs paramètres qui déterminent sa convergence, c'est-à-dire le temps mis pour éliminer le brouilleur à la sortie du second filtre. On choisira cet algorithme de façon telle que la convergence s'effectuera d'autant plus rapidement que le signal à éliminer (détecté à la sortie du filtre d'entrée) est puissant.

Toujours dans le cas où l'on prévoit un ensemble de filtres, pour augmenter la vitesse de traitement, il peut être avantageux de pré-programmer les paramètres des filtres en fonction des paramètres des brouilleurs les plus probables. De cette manière, la vitesse de réaction du système de filtrage est maximisée puisque les filtres sont déjà, en principe, positionnés sur les fréquences et largeurs de bandes à éliminer.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront avec la description de certains de ses modes de réa-

lisation, celle-ci étant effectuée en se référant aux dessins ci-annexés sur lesquels :

la figure 1 est un diagramme montrant un signal à filtrer selon le procédé de l'invention,

5 la figure 2 est un schéma d'un système de filtrage conforme à l'invention,

la figure 3 est un schéma d'une cellule de filtrage du système de la figure 1,

10 la figure 3a est un diagramme montrant le gabarit du filtre de la figure 3,

la figure 4 est un schéma d'un mode de réalisation du filtre pour la cellule de la figure 3,

la figure 4a est un schéma d'une structure de filtrage permettant la détection de brouilleurs, et

15 la figure 5 est un schéma illustrant un mode de fonctionnement du système de la figure 2.

L'exemple de réalisation qu'on va décrire en relation avec les figures concerne l'élimination des brouilleurs d'un signal GPS. Dans cet exemple, on utilise une cascade (ou série) de filtres à encoche de fréquences ajustables en fonction des besoins. Un programme de commande permet de distribuer les fréquences des filtres à encoche de façon à éliminer les brouilleurs.

25 Dans cet exemple, tous les filtres à encoche de la cascade sont identiques entre eux.

La figure 1 est un diagramme illustrant un signal auquel peut être appliqué le procédé de filtrage de l'invention. Sur ce diagramme, on a porté, en abscisses, la fréquence en megahertz et, en ordonnées, l'amplitude A d'un signal GPS reçu.

30 Comme expliqué ci-dessus, le signal GPS 10 est un signal à spectre étalé entre 2 et 20 megahertz par exemple. Avant décorrélation, ce signal présente un niveau A qui est au plus égal au plancher B du bruit. Dans ces conditions, tout signal, dont le niveau dépasse le plancher de bruit, constitue un brouilleur qu'il faut éliminer. Ainsi, sur la figure 1, on a représenté

35



deux brouilleurs à deux fréquences différentes, l'un, 12, est un brouilleur à bande de fréquence étroite, par exemple autour de 5 megahertz, et l'autre, 14, est un brouilleur à bande plus large, autour de 10 MHz environ.

5 Le procédé de filtrage consiste à détecter les brouilleurs 12, 14 et, en fonction des caractéristiques de ces brouilleurs, à choisir les paramètres de filtres à encoche, essentiellement leurs fréquences, et éventuellement leur largeur de bande de filtrage, de façon à éliminer les brouilleurs. Ainsi, le  
10 brouilleur 12 peut être éliminé à l'aide d'un seul filtre à encoche, alors que le brouilleur 14 nécessite l'utilisation de plusieurs filtres à encoche.

L'atténuation de chaque filtre n'étant pas réglable, ou réglable seulement dans une faible gamme, l'élimination d'un  
15 brouilleur puissant, c'est-à-dire d'un niveau relativement élevé, peut nécessiter l'utilisation de deux, ou davantage, de filtres à encoche ayant la même fréquence. Un brouilleur à bande relativement large, tel que le brouilleur 14, nécessite, par ailleurs, des filtres à encoche ayant des fréquences différentes, qui se  
20 succèdent.

La figure 2 est un schéma de principe du système de filtrage conforme à l'invention.

Ce système comporte un convertisseur analogique/numérique 20 recevant le signal GPS. Le signal numérique est  
25 fourni à un ensemble 22 de filtres en série. Ces filtres, ou cellules de filtrage, sont du type à encoche. Un dispositif 24 permet de détecter les brouilleurs et de commander les filtres ou cellules individuelles de l'ensemble 22.

Pour la détection, le dispositif 24 présente une entrée  
30 26 connectée à la sortie du convertisseur 20. Pour la commande, ce dispositif 24 comporte une série de sorties  $28_1 \dots 28_n$  pour la commande de chacun des n filtres individuels.

Le dispositif 24 comprend essentiellement un moyen de calcul à processeur ou microprocesseur tandis que les filtres de  
35 l'ensemble 22 sont, de préférence, des éléments câblés.

Les calculs sont effectués par le dispositif 24 à un rythme qui est un sous-multiple du rythme de fonctionnement des filtres de l'ensemble 22. Autrement dit, les coefficients des filtres sont déterminés à une cadence inférieure à la cadence de  
 5 fonctionnement des filtres. Cette différence entre les cadences de traitement n'affecte pas la qualité du filtrage car on a constaté que les caractéristiques des brouilleurs varient en général de façon lente.

Les sorties  $28_1 \dots 28_n$  déterminent ainsi les coefficients des filtres en fonction des brouilleurs. On a donc affaire  
 10 à un filtre dit "adaptatif".

Le processeur 24 détermine les coefficients des filtres par un algorithme adaptatif.

Le procédé de détection des brouilleurs qui est utilisé  
 15 par le processeur 24 est classique. On peut faire appel à une transformation de Fourier rapide (FFT). On peut aussi utiliser un procédé d'auto-corrélation, c'est-à-dire une corrélation entre, d'une part, le signal reçu sur la sortie du convertisseur 20, et, d'autre part, le même signal décalé dans le temps. Pour la détec-  
 20 tion, une inter-corrélation, c'est-à-dire une corrélation entre l'entrée et la sortie du filtre, est également envisageable. Toutefois, comme décrit plus loin en relation avec la figure 4a, on préfère utiliser une structure de filtrage de même fonction de transfert que le filtre actif, cette structure étant implantée  
 25 sous forme de logiciel dans le processeur 24.

Il est à noter que la détection est soit individuelle à chaque cellule de l'ensemble 22, soit commune à l'ensemble des cellules.

Dans un mode de réalisation, les coefficients sur les  
 30 sorties  $28_1 \dots 28_n$  sont pré-programmés de façon à régler la fréquence des filtres pour éliminer les brouilleurs les plus courants. De cette manière, quand ces brouilleurs se présentent, les filtres sont prêts à jouer leur rôle et il n'y a donc pratiquement pas de retard à l'élimination des brouilleurs.

La figure 3 est un schéma d'une cellule de base de l'ensemble 22. Cette cellule 30<sub>p</sub> est formée d'une dérivation 31, d'un filtre 34 et d'un commutateur 32 qui est activé pour mettre en fonction le filtre 34 en cas de nécessité. Ainsi, quand un  
 5 filtrage n'est pas nécessaire, le commutateur 32 est dans une position telle que le signal de sortie 36 est identique au signal sur l'entrée 38. En d'autres termes, la cellule 30<sub>p</sub> a soit une fonction de filtrage, soit une fonction de suiveur de signal.

Le commutateur 32 est commandé par le processeur 24.

10 En variante, à la place du commutateur 32, pour court-circuiter le filtre 34, on prévoit une commande telle que ce filtre présente une largeur de bande infiniment étroite.

Le filtre 34 est, dans l'exemple, un filtre à encoche du type à réponse impulsionnelle infinie du second ordre, dit  
 15 "avec contrainte".

Le gabarit d'un tel filtre est représenté sur la figure 3a sur laquelle la fréquence réduite est portée en abscisses et la réponse normalisée  $[H(F)]$  du filtre est portée en ordonnées. La fréquence réduite  $f$  est le rapport entre la fréquence réelle  
 20 et la fréquence d'échantillonnage.

On voit que ce gabarit présente une fente très étroite  
 40 autour de la fréquence  $f_0$ .

Un exemple de filtre à encoche convenant particulièrement bien pour l'invention est représenté sur la figure 4.

25 Ce filtre 34 présente une entrée 42 pour les signaux numériques  $x_n$  et une sortie 44 pour les signaux numériques  $y_n$ . Sa structure est déterminée par la relation suivante :

$$(2) \quad y_n = x_{n-2} + A_1 x_{n-1} + x_n + B_2 y_{n-2} + B_1 y_{n-1}$$

avec :

$$30 \quad (3) \quad B_1 = \alpha A_1$$

$$B_2 = \alpha^2$$

A cet effet, l'entrée 42 est reliée à une première entrée 46<sub>1</sub> d'un additionneur 46 par l'intermédiaire d'un élément 48 de normalisation (qui effectue une multiplication par un facteur constant) ainsi qu'à l'entrée d'un élément de retard 50. La  
 35

sortie de l'élément de retard 50, qui délivre un signal  $x_{n-1}$ , est reliée, d'une part, à la première entrée 52<sub>1</sub> d'un multiplicateur 52 et, d'autre part, à l'entrée d'un autre élément de retard 54. La sortie du multiplicateur 52 est connectée à une première entrée 56<sub>1</sub> d'un additionneur 56 présentant une seconde entrée 56<sub>2</sub> connectée à la sortie de l'additionneur 46. L'élément de retard 54, qui délivre un signal  $x_{n-2}$ , est relié, par l'intermédiaire d'un dispositif 58 de normalisation à la première entrée 60<sub>1</sub> d'un troisième additionneur 60 dont la sortie constitue la sortie 44 du filtre 34.

La seconde entrée 52<sub>2</sub> du multiplicateur reçoit le coefficient  $A_1$ .

La seconde entrée 46<sub>2</sub> du premier additionneur 46 est reliée à la sortie d'un multiplicateur 62 dont la première entrée 62<sub>1</sub> reçoit le coefficient  $B_2$  et dont la seconde entrée 62<sub>2</sub> est reliée à la sortie 44 par l'intermédiaire de deux éléments de retard 64 et 66 en série. La sortie 65 de l'élément de retard 64 (qui constitue aussi l'entrée de l'élément de retard 66) est reliée à une première entrée 68<sub>1</sub> d'un multiplicateur 68 dont la sortie est reliée à une troisième entrée 56<sub>3</sub> du second additionneur 56. La sortie de ce second additionneur 56 est connectée à la seconde entrée 60<sub>2</sub> du troisième additionneur 60. Le multiplicateur 68 présente une seconde entrée 68<sub>2</sub> sur laquelle est appliqué le coefficient  $B_1$ .

Ce filtre est d'une structure particulièrement simple. Seuls deux coefficients doivent être déterminés par le processeur 24, à savoir les coefficients  $\alpha$  et  $A_1$ . Le coefficient  $A_1$  détermine la fréquence, tandis que le coefficient  $\alpha$  détermine la largeur de bande. Plus la valeur du coefficient  $\alpha$  se rapproche de 1 par valeurs inférieures, plus la bande est étroite.

Le tableau 1 ci-dessous montre les largeurs de bande à -3 dB pour une série de valeurs du coefficient  $\alpha$ .

$\alpha$	Largeur de bande normalisée (-3dB)	Largeur de bande (KHz) $F_c=20\text{Méch/sec (-3dB)}$
0.9	0.031830989	636.6
0.91	0.02864789	572.9
0.92	0.025464791	509.3
0.93	0.022281692	445.6
0.94	0.019098593	382.0
0.95	0.015915494	318.3
0.96	0.012732395	254.6
0.97	0.009549297	191.0
0.98	0.006366198	127.3
0.99	0.003183099	63.7
0.991	0.002864789	57.3
0.992	0.002546479	50.9
0.993	0.002228169	44.6
0.994	0.001909859	38.2
0.995	0.001591549	31.8
0.996	0.00127324	25.5
0.997	0.00095493	19.1
0.998	0.00063662	12.7
0.999	0.00031831	6.4
0.9999	0.000031831	0.64

Pour configurer le filtre 34 en suiveur de signal, on peut conférer la valeur 1 au coefficient  $\alpha$ .

Il est, bien entendu, possible de faire varier le coefficient  $\alpha$  de façon continue en fonction des besoins. Toutefois, dans une réalisation, pour simplifier la commande, la programmation est telle que le coefficient  $\alpha$  ne peut prendre qu'un nombre limité de valeurs.

Par ailleurs, l'atténuation, ou profondeur de filtrage, n'est pas réglable.

On va maintenant décrire, en relation avec la figure 4a, une structure de filtrage qui est utilisable pour la détection des brouilleurs. Bien que cette structure soit représentée sous forme de circuit, elle est réalisée, de préférence, sous forme de logiciel dans le processeur 24 (figure 2 ou figure 3).

Cette structure de filtrage 100 présente une fonction de transfert égale à la fonction de transfert du filtre actif individuel correspondant 34. Elle comporte un filtre d'entrée 102 de fonction de transfert  $1/D(z)$  recevant sur son entrée 102<sub>1</sub> le signal d'entrée  $x_n$  et fournissant sur sa sortie 102<sub>2</sub> un signal  $w_n$  qui est transmis à l'entrée 104<sub>1</sub> d'un second filtre 104 de fonction de transfert  $N(z)$ . Ce second filtre délivre sur sa sortie 104<sub>2</sub>, un signal  $y_n$ .

Dans l'exemple :

$$(4) \quad D(z) = 1 - (2\alpha \cos 2\pi f_0)z^{-1} + \alpha^2 z^{-2},$$

avec  $z = e^{j\omega}$  ;  $f_0$  est la fréquence centrale du brouilleur à détecter ; et

$$(5) \quad N(z) = 1 - (2 \cos 2\pi f_0)z^{-1} + z^{-2}.$$

Dans la formule (4) ci-dessus, le paramètre  $\alpha$  détermine la largeur de bande du système de filtrage et du filtre actif. Il règle aussi la sensibilité du système de détection.

Cette structure de filtrage est associée à un algorithme qui fait varier les pôles du filtre 102 et donc la fréquence pour laquelle le signal de sortie  $w_n$  présente une valeur importante. En même temps, la puissance du signal  $w_n$  est détectée. Lorsque celle-ci dépasse un seuil prédéterminé, les paramètres du filtre à encoche 104 sont modifiés pour minimiser le signal  $y_n$ .

Cette modification peut entraîner la nécessité de modifier aussi les paramètres du filtre 102. On a donc affaire à un algorithme d'adaptation. Cet algorithme détermine ainsi la fonction de transfert du filtre 100, ce qui permet de déterminer les coefficients  $A_1$  et  $\alpha$  du filtre de la figure 4.

Quand le brouilleur présente une largeur de bande supérieure à la largeur maximale qu'on peut admettre pour un filtre à

encoche, on prévoit plusieurs structures de filtrage 100 en cascade, chacune réglant les paramètres  $A_1$  et  $\alpha$  d'un filtre actif correspondant qui élimine une partie de la largeur de bande du brouilleur, l'ensemble des filtres étant dimensionné pour éliminer toute la bande du brouilleur.

Par ailleurs, l'algorithme est tel que sa vitesse de convergence est d'autant plus élevée que la puissance du signal  $w_n$  est élevée. En effet, on a intérêt à éliminer rapidement des brouilleurs puissants.

Bien entendu, comme déjà indiqué, les calculs effectués pour la détection des brouilleurs et la détermination des paramètres du filtre de la figure 4 sont effectués à un rythme inférieur à la fréquence d'échantillonnage des signaux traités par le filtre 34.

La figure 5 illustre un mode de fonctionnement du système de filtrage lorsque la répartition des brouilleurs varie, c'est-à-dire lorsque des brouilleurs apparaissent et d'autres brouilleurs disparaissent.

Le problème à résoudre est le suivant : les cellules de filtrages étant disposées en série, les cellules se trouvant en amont ne doivent pas perturber les cellules disposées en aval. Autrement dit, l'algorithme imposé par le processeur 24 doit être tel qu'en cas de modification des brouilleurs, on modifie au minimum la commande des filtres à encoche. A cet effet, les coefficients des filtres sont réaffectés de façon telle qu'un filtre agissant sur un brouilleur disparu est disposé à l'aval des filtres actifs et ce filtre est éventuellement utilisé pour éliminer un brouilleur non encore traité.

Sur la figure 5, on a donc représenté plusieurs lignes correspondant à plusieurs états de brouilleurs et donc à plusieurs états de cellules. Dans l'état représenté par la ligne 1, quatre brouilleurs à bandes étroites perturbent le signal GPS. Ces quatre brouilleurs sont éliminés par les quatre premières cellules  $30_1$  à  $30_4$ .

On se place alors dans l'hypothèse que le premier brouilleur, celui qui est traité par la cellule  $30_1$ , disparaît. Dans ce cas, la cellule  $30_1$  est désactivée et le processeur est programmé de façon que soit recherché un autre brouilleur potentiel, non encore traité. Si un tel brouilleur existe, comme représenté par la ligne 2, la cellule  $30_1$  est disposée après la dernière cellule  $30_n$ . Ainsi, les cellules  $30_2$ ,  $30_3$  et  $30_4$ , qui sont activées, deviennent les premières cellules. Pour obtenir cette nouvelle configuration, il suffit de réaffecter les coefficients des divers filtres par translation ou permutation circulaire ; les coefficients préalablement affectés à chaque cellule sont affectés à la cellule précédente.

Si, à partir de l'état représenté par la ligne 2, le brouilleur traité par la cellule  $30_3$  disparaît, cette cellule  $30_3$  est désactivée et, comme représenté sur la ligne 3, cette cellule cherche, à son tour, un autre brouilleur et est disposée en fin de chaîne. On a aussi supposé, dans l'état représenté par la ligne 3, qu'au même moment, la cellule  $30_n$  est désactivée ; dans ce cas, on la dispose en fin de chaîne, comme représenté par la ligne 4.

Ainsi, dans l'exemple, chaque filtre désactivé, du fait de la disparition du brouilleur correspondant, est disposé en fin de chaîne.

Le système de filtres disposés en série, décrit ci-dessus, concerne un ensemble de filtres adaptatifs de type à réponse impulsionnelle infinie. Toutefois, les dispositions de l'invention se rapportant à un système de filtres en série dont chacun est commandable individuellement peuvent être utilisées avec d'autres types de filtres, par exemple des filtres à réponse impulsionnelle finie.

En particulier, un système de filtres adaptatifs dans lequel le nombre de filtres affectés à un brouilleur est fonction de la puissance de ce brouilleur, ou un système dans lequel on réaffecte les filtres comme décrit en relation avec la figure 5,



n'est pas limité à l'utilisation des filtres à réponse impulsionnelle infinie.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de filtrage de brouilleurs affectant un signal à spectre étalé, notamment un signal GPS, dans lequel on utilise un filtre adaptatif dont la fréquence s'adapte à la fréquence du brouilleur (12, 14) détecté, caractérisé en ce qu'on  
5 utilise un filtre (34) adaptatif de type à réponse impulsionnelle infinie.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'on utilise un filtre à encoche.

3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce  
10 que le filtre à encoche est du second ordre avec contrainte.

4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que le filtre à encoche (34) est configuré de façon à satisfaire aux relations suivantes :

$$Y_n = x_{n-2} + A_1 x_{n-1} + x_n + B_2 Y_{n-2} + B_1 Y_{n-1}.$$

15 avec :

$$B_1 = \alpha A_1,$$

$$B_2 = \alpha^2$$

$x_n$  étant le signal d'entrée,  $y_n$  le signal de sortie,  $x_{n-K}$  correspond à un signal  $x_n$  K fois retardé et, de même,  $Y_{n-K}$   
20 correspond au signal  $y_n$  K fois retardé,

le coefficient  $A_1$  étant commandable pour déterminer la fréquence du filtre, et le coefficient  $\alpha$  étant commandable pour déterminer la largeur de bande du filtre.

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications  
25 précédentes, caractérisé en ce que l'atténuation du filtre est constante.

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications  
30 précédentes, caractérisé en ce que la commande de filtre est telle qu'on choisit un nombre limité de valeurs de largeur de bande.

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le filtre est commandé pour se comporter en suiveur de signal quand aucun brouilleur n'est détecté.

8. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce qu'on confère au filtre une largeur de bande infiniment étroite quand le filtre n'est pas utilisé pour éliminer un brouilleur.

5 9. Procédé selon l'invention 7, caractérisé en ce qu'on met en service une dérivation (32) quand le filtre n'est pas utilisé pour éliminer un brouilleur.

10. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la détection des brouilleurs est effectuée à l'aide d'une transformation de Fourier rapide.

10 11. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que la détection des brouilleurs est effectuée par auto-corrélation ou par inter-corrélation.

15 12. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que la détection des brouilleurs est effectuée à l'aide d'une structure de filtrage (100) de fonction de transfert égale à la fonction de transfert du filtre adaptatif (34) et présentant une première partie (102) ajustable pour amplifier le signal d'entrée, et une seconde partie (104) recevant le signal de sortie de la première partie et qui est ajustable  
20 pour minimiser le signal délivré sur sa sortie (104<sub>2</sub>), les paramètres des première et seconde parties ainsi ajustées étant utilisés pour régler le filtre adaptatif (34).

25 13. Procédé selon la revendication 12, caractérisé en ce que la fonction de transfert de la première partie (102) de la structure de filtrage est de la forme  $1/D(z)$ .

14. Procédé selon la revendication 12 ou 13, caractérisé en ce que la fonction de transfert de la seconde partie (104) de la structure de filtrage est de la forme  $N(z)$ .

30 15. Procédé selon les revendications 4, 13 et 14, caractérisé en ce que les fonctions  $D(z)$  et  $N(z)$  satisfont aux relations suivantes :

$$D(z) = 1 - (2\alpha \cos 2\pi f_0)z^{-1} + \alpha^2 z^{-2},$$

$$\text{et } N(z) = 1 - (2 \cos 2\pi f_0)z^{-1} + z^{-2}$$

avec  $z = e^{j\omega}$ ,  $f_0$  étant la fréquence centrale du brouilleur à détecter, et  $\alpha$  représentant la largeur de bande de la structure de filtrage.

5 16. Procédé selon l'une quelconque des revendications 12 à 15, caractérisé en ce que la structure de filtrage (100) est réalisée par logiciel.

17. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'on dispose plusieurs filtres en série dont chacun est commandable individuellement.

10 18. Procédé selon la revendication 17, caractérisé en ce que la détection des brouilleurs est commune à l'ensemble des filtres.

15 19. Procédé selon la revendication 17, caractérisé en ce qu'on affecte un moyen de détection de brouilleur à chaque filtre.

20 20. Procédé selon l'une quelconque des revendications 17 à 19, caractérisé en ce que la commande des filtres est telle qu'au moins certains de ceux-ci sont programmés pour éliminer les brouilleurs dont la probabilité d'apparition est la plus grande.

21. Procédé selon l'une quelconque des revendications 17 à 20, caractérisé en ce que les filtres sont tous identiques entre eux.

25 22. Procédé selon l'une quelconque des revendications 17 à 21, caractérisé en ce que la commande est telle qu'en cas de disparition d'un brouilleur, la commande des filtres affectés aux autres brouilleurs n'est pas modifiée, le filtre précédemment affecté au brouilleur ayant disparu étant, si nécessaire, affecté à un autre brouilleur.

30 23. Procédé selon la revendication 22, caractérisé en ce qu'en cas de disparition d'un brouilleur, les coefficients du filtre précédemment affecté au brouilleur disparu sont affectés au dernier filtre de la série.

35 24. Procédé selon l'une quelconque des revendications 17 à 23, caractérisé en ce que le nombre de filtres affectés à un brouilleur est fonction de la puissance de ce brouilleur.

25. Procédé selon la revendication 24, caractérisé en ce que, pour éliminer un brouilleur dont la puissance dépasse une valeur déterminée, on prévoit au moins deux filtres centrés sur la même fréquence.

## PROCÉDÉ DE FILTRAGE ADAPTATIF

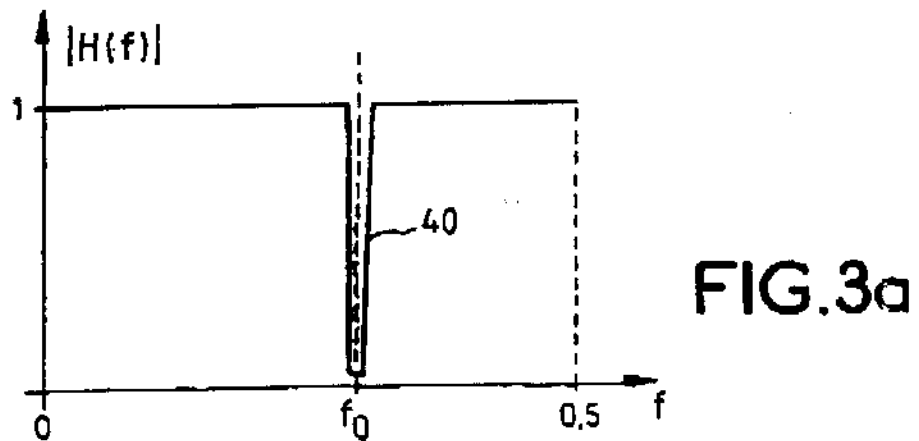
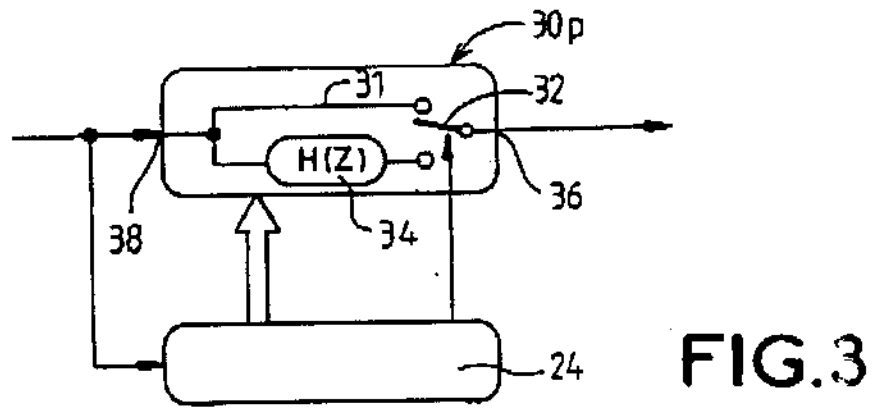
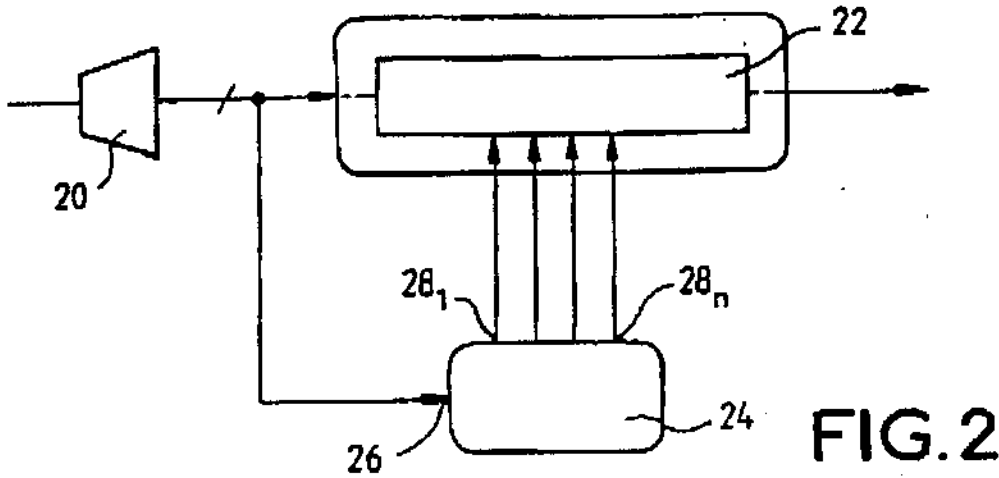
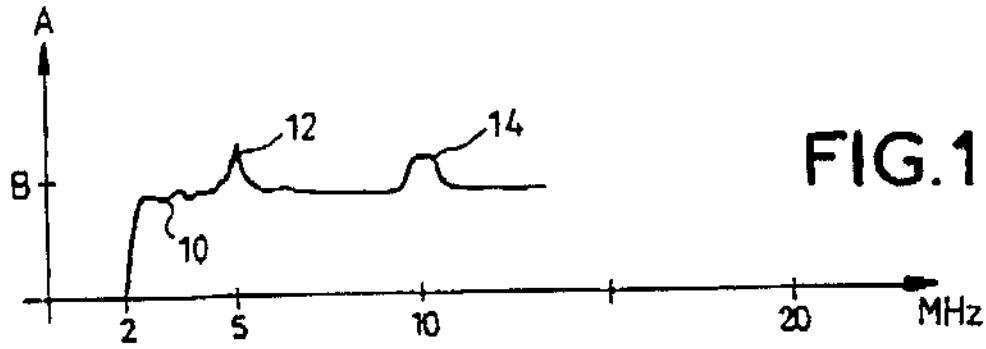
### Abrégé Descriptif

L'invention concerne un procédé de filtrage de brouilleurs affectant un signal à spectre étalé dans lequel on utilise un filtre adaptatif dont la fréquence s'adapte à la fréquence du brouilleur détecté.

Elle est caractérisée en ce qu'on utilise un filtre adaptatif (34) de type à réponse impulsionnelle infinie, notamment un filtre à encoche du second ordre avec contrainte. De préférence, on fait appel à plusieurs filtres identiques en série dont chacun est commandable (24) individuellement.

Application au filtrage de signaux GPS.

Figure 3.



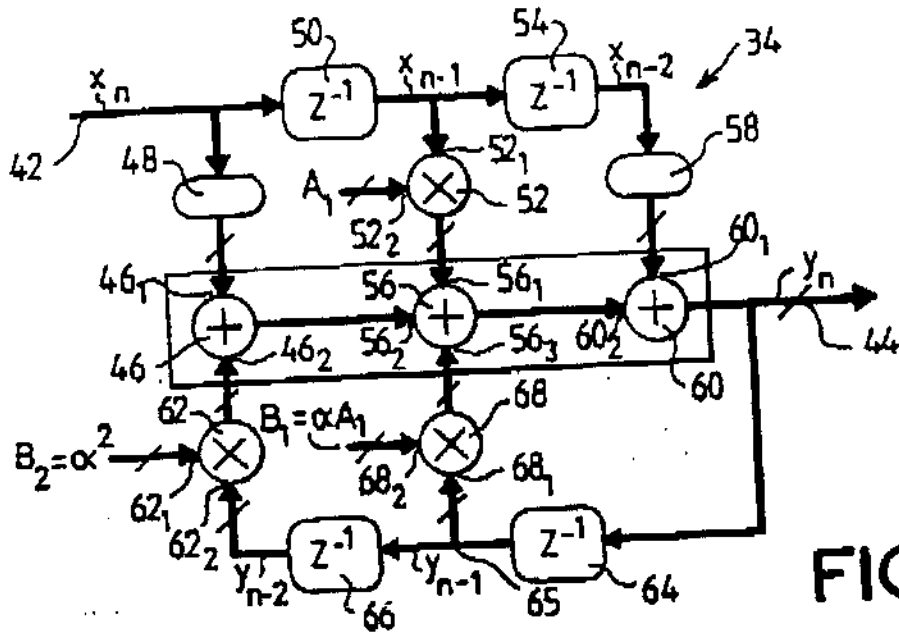


FIG. 4

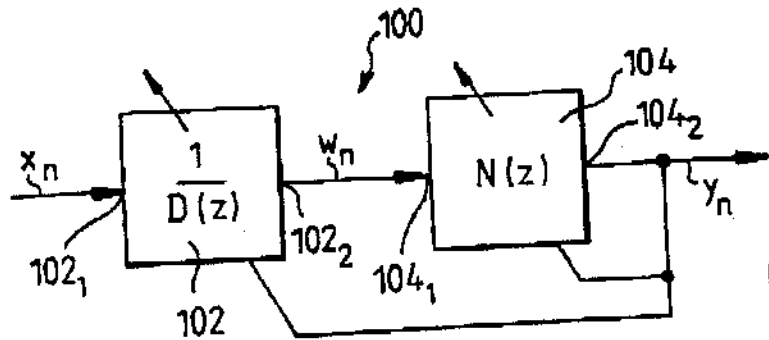


FIG. 4a

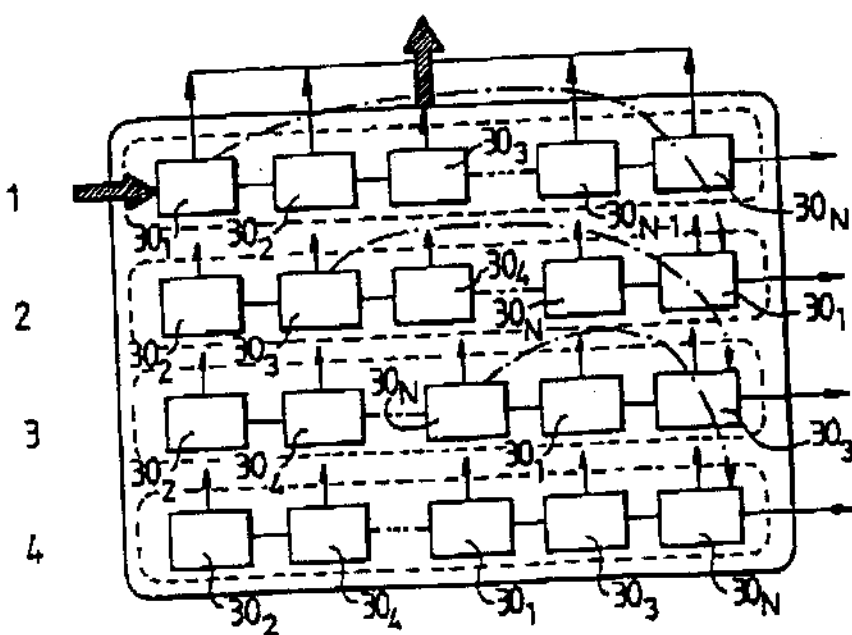


FIG. 5