



(43) Date de la publication internationale
27 septembre 2007 (27.09.2007)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2007/107445 A2

(51) Classification internationale des brevets :
G06F 17/15 (2006.01) **G01S 1/00** (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2007/052037

(22) Date de dépôt international : 5 mars 2007 (05.03.2007)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
06 02459 21 mars 2006 (21.03.2006) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) :
THALES [FR/FR]; 45 Rue De Villiers, F-92200 Neuilly
Sur Seine (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : **MARTIN, Nicolas** [FR/FR]; 4 Bis, Rue Roger Salengro, F-26500 Bourg Les Valence (FR). **CLAUZEL, Yves** [FR/FR]; 14 Impasse Xavier Mallet, F-26200 Montelimar (FR).

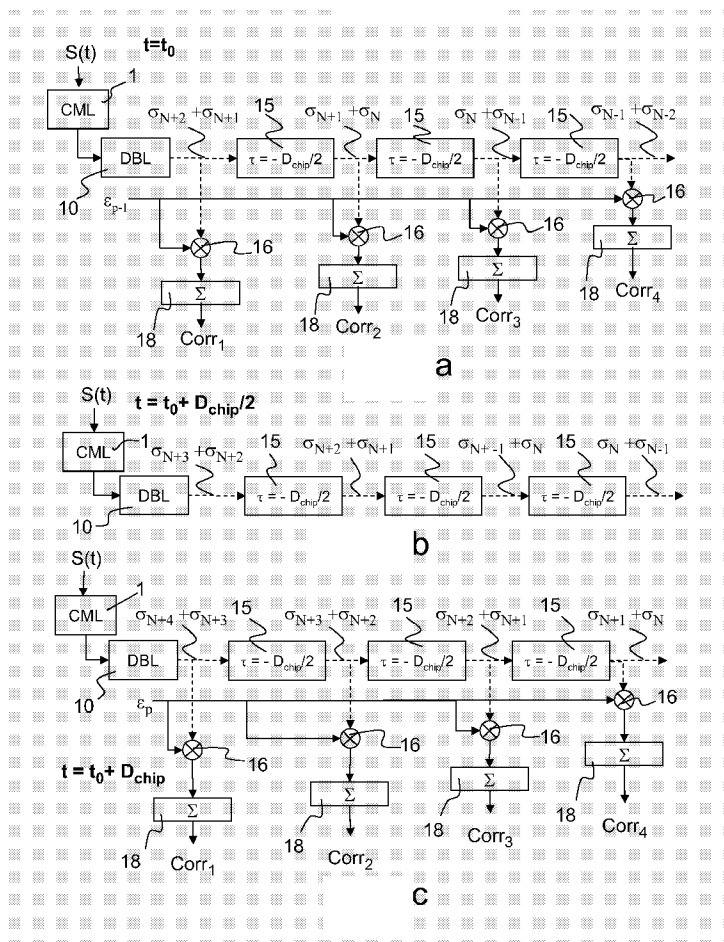
(74) Mandataires : **BEYLOT, Jacques** etc.; MARKS & CLERK FRANCE, 31-33, Avenue Aristide Briand, F-94117 Arcueil Cedex (FR).

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

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR FAST CORRELATION CALCULATION

(54) Titre : PROCEDE ET DISPOSITIF DE CALCUL DE CORRELATION RAPIDE



appelées chips, de durée moyenne D_{chip} ,

(57) Abstract: The invention concerns the reception of a radio navigation signal from a satellite positioning system such as GPS. The invention concerns a method for calculating correlations between a first sequence and a second sequence, said first sequence and said second sequence having a duration D_{Code} , the first sequence being extracted from a digital signal including a code, said code comprising elementary time divisions, or chips, of average duration D_{chip} , said chips being synchronized on pulses delivered by a numerically controlled oscillator (NCO) at the average frequency $2/D_{chip}$, the second sequence resulting from a sampling at a frequency F_e of an analog signal, the frequency F_e being higher than $2/D_{chip}$. According to the invention, the method includes a step of cumulating samples of the second sequence, over consecutive integration intervals of duration averaging $D_{chip}/2$, at each pulse of the NCO, to determine the results of elementary accumulations.

(57) Abrégé : Le domaine de l'invention est celui de la réception d'un signal de radionavigation provenant d'un système de positionnement par satellites tel que le système GPS. La présente invention est relative à un procédé de calcul de corrélations entre une première séquence et une deuxième séquence, ladite première séquence et ladite deuxième séquence ayant une durée D_{Code} , la première séquence étant extraite d'un signal numérique comportant un code, ledit code comportant des divisions temporelles élémentaires,

[Suite sur la page suivante]



LT, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

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

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL,

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

lesdits chips étant synchronisés sur des impulsions délivrées par un oscillateur NCO à la fréquence moyenne $2/D_{\text{chip}}$, la deuxième séquence résultant d'un échantillonnage à une fréquence F_e d'un signal analogique, la fréquence F_e étant supérieure à $2/D_{\text{chip}}$. Selon l'invention, il comporte une étape de cumul des échantillons de la deuxième séquence, sur des intervalles d'intégration consécutifs de durée égale en moyenne à $D_{\text{chip}}/2$, débutant à chaque impulsion de l'oscillateur NCO, pour déterminer des résultats de cumuls élémentaires.

Procédé et dispositif de calcul de corrélation rapide

Le domaine de l'invention est celui de la réception d'un signal de radionavigation provenant d'un système de positionnement par satellites tel que le système GPS (acronyme de l'expression anglo-saxonne « Global Positioning System »). Plus particulièrement, l'invention concerne
5 l'accélération des calculs de corrélations mis en œuvre pour synchroniser le signal radionavigation avec un code généré localement sur un récepteur.

Pour un récepteur de système de positionnement par satellites, une durée d'acquisition de signal de radionavigation qui est courte constitue
10 une caractéristique recherchée pour un système de positionnement. En effet, lors de la mise en marche d'un récepteur, la durée d'acquisition est la durée pendant laquelle l'information de positionnement ne peut pas encore être délivrée par le récepteur.

On rappelle succinctement le fonctionnement du système GPS. Il
15 est constitué d'une constellation de 28 satellites et d'un réseau terrestre de stations de référence à terre. Chaque satellite gravite à environ 20 000 km de la terre avec une période de révolution de 12 heures. Chacun d'eux émettent deux signaux, l'un à 1575.452 MHz pour les applications civiles et l'autre à 1227.6 MHz pour les applications à accès réservés. Le signal émis par un
20 satellite est constitué d'une porteuse, éventuellement d'une sous-porteuse dans le cas d'une modulation BOC, modulée par un code d'étalement connu et éventuellement par des données inconnues. Les satellites émettent tous sur les mêmes fréquences et les signaux émis se différencient par leur code.

Ces codes présentent généralement une période T , qui peut être
25 courte, par exemple 1 ms, ou très longue à l'échelle de temps considérée, par exemple une semaine, mais ils peuvent également être non périodiques, c'est le cas par exemple pour des signaux cryptés. Les codes sont typiquement constitués d'un grand nombre de divisions temporelles élémentaires, appelées encore « chips » de code qui ont une durée moyenne
30 égale à D_{chip} .

Le positionnement du récepteur est obtenu en mesurant la distance entre un satellite et le récepteur à partir de la durée de propagation du signal entre ce satellite et le récepteur. Dans le récepteur, une réplique du

code émis est générée localement ; le décalage temporel entre le signal reçu et le signal local, c'est-à-dire la réplique du code, correspond à la durée de propagation recherchée. Ce décalage est mesuré en mettant en phase le signal reçu et le signal local ; le critère de mise en phase correspond à la maximisation de la fonction de corrélation des deux signaux, c'est-à-dire à la recherche d'un pic dans des résultats de corrélation entre le signal reçu et le signal local, des hypothèses de décalage différente entre le signal reçu et le signal local étant considérée pour chaque calcul de corrélation.

Les calculs de corrélation sont effectués à partir des composantes réelle et imaginaire du signal reçu, résultant d'un échantillonnage du signal de radionavigation analogique effectué à une fréquence F_e supérieure à $2/D_{\text{chip}}$, où D_{chip} est la durée moyenne d'un chip de code, selon le critère de Shannon. En sortie de l'antenne du récepteur, le signal est, de manière classique, converti en fréquence intermédiaire, filtré, échantillonné, puis converti en bande de base par un traitement numérique, avant la corrélation avec un code local d'un satellite.

Un calcul de corrélation est fondé sur une hypothèse réalisée sur la date de réception du signal émis par le satellite au niveau de l'antenne du récepteur. On effectue des calculs de corrélation pour différentes hypothèses correspondant à des différentes dates de réception espacées d'une durée demi-chip de code les unes par rapport aux autres. Les calculs de corrélation sont effectués sur un intervalle d'intégration dont on peut faire varier la durée T_{int} en fonction du rapport signal à bruit prédit à priori. Pour un code périodique de période T égale à 1024 chips, cela nécessite de tester jusqu'à $(2 \cdot 1024) = 2048$ hypothèses, soit par conséquent 2048 calculs de corrélation à réaliser.

Par ailleurs, dans ce cas, le calcul d'une corrélation entre le signal reçu et le signal local pour une hypothèse de date de réception du code reçu correspond à $T_{\text{int}} \cdot F_e$ produits entre des échantillons des deux signaux puis $T_{\text{int}} \cdot F_e - 1$ sommes des résultats des produits. Lorsque la durée d'un calcul d'une corrélation vaut D_{Calcul} , et si les calculs des 2048 corrélations sont réalisés séquentiellement, la durée totale du calcul des corrélations vaut alors $2048 \cdot D_{\text{Calcul}}$. Cette durée totale peut dépasser la dizaine de minutes pour mettre en phase le code du signal reçu c'est-à-dire pour accéder et utiliser les données produites par le satellite qui émet le signal.

A intervalle d'intégration de durée fixe, une première solution pour réduire la durée totale du calcul des corrélations consiste à réduire la durée d'un calcul de corrélation, par exemple en effectuant les opérations (produits puis sommes) en parallèle plutôt que de les effectuer en série comme décrit précédemment. De cette façon, la durée totale de calcul des corrélations est
5 réduite, car les opérations sont réalisées simultanément.

Dans la suite on se place dans le cadre de cette solution.

Dans un certain nombre de situations, la réduction de la durée totale du calcul des corrélations obtenue par la première solution présentée
10 n'est pas suffisante, c'est le cas par exemple, lorsque la période T du code est longue ou lorsque le nombre des corrélations élémentaires à effectuer est multiplié en raison d'un nombre important d'hypothèses à faire sur la fréquence du signal à considérer pour compenser l'effet Doppler.

Le but de l'invention est donc de pouvoir réduire la durée totale du calcul des corrélations en évitant de répéter des calculs intermédiaires qui
15 sont communs d'un calcul de corrélation à un autre.

Pour atteindre ce but, l'invention propose un procédé de calcul de corrélations entre une première séquence et une deuxième séquence, ladite première séquence et ladite deuxième séquence ayant chacune une durée
20 D_{Code} , la première séquence étant extraite d'un signal numérique comportant un code, ledit code comportant des divisions temporelles élémentaires, appelées chips, d'une durée D_{chip} , lesdits chips étant échantillonnés sur des impulsions délivrées par un oscillateur NCO à la fréquence moyenne $2/D_{\text{chip}}$, la deuxième séquence résultant d'un échantillonnage à une fréquence F_e
25 d'un signal analogique, la fréquence F_e étant supérieure à $2/D_{\text{chip}}$, caractérisé en ce qu'il comporte une étape de cumul des échantillons de la deuxième séquence, sur des intervalles d'intégration consécutifs de durée égale en moyenne à $D_{\text{chip}}/2$, débutant à chaque impulsion de l'oscillateur NCO, pour déterminer des résultats de cumuls élémentaires.

30

Un premier avantage de l'invention tient en ce qu'elle contribue à réduire la durée d'un calcul de corrélation élémentaire. En effet, un cumul d'échantillons de la deuxième séquence permet, comme cela sera montré plus loin, de réduire le nombre d'opérations arithmétiques réaliser pour
35 obtenir un résultat de calcul de corrélation élémentaire, notamment des

produits entre échantillons de code et de signal. Le cumul équivaut à une mise en facteur commun qui est rendu possible par la stabilité de la valeur du code sur la durée du cumul. Cet avantage de l'invention est d'autant plus important que la durée du cumul est élevée par rapport à la durée d'un échantillon de signal à F_e de la deuxième séquence.

L'avantage de l'invention apparaît lorsqu'on a à réaliser une série de N_c calculs de corrélations élémentaires. Ainsi, lorsque l'on peut mémoriser des résultats de calculs intermédiaires, par exemple des résultats de cumuls élémentaires, qui sont communs aux N_c calculs, on contribue à réduire la durée totale nécessaire pour réaliser les N_c calculs de corrélation, à condition que la durée nécessaire pour effectuer les calculs intermédiaires soit supérieure à la durée nécessaire pour accéder aux résultats mémorisés de ces calculs.

L'invention a également pour objet un récepteur d'un signal de radionavigation caractérisé en ce qu'il comprend un composant numérique apte à mettre en œuvre le procédé tel que décrit, par exemple un ASIC ou un FPGA.

Un autre avantage de l'invention tient en ce que, puisque le procédé de calcul de corrélation selon l'invention nécessite moins d'opérations arithmétiques que les procédés de l'état de la technique, un composant numérique mettant en œuvre le procédé selon l'invention requiert moins d'opérateurs logiques réalisant en parallèle ces produits. Le gain en espace dans les circuits du composant numérique qui sont engendrés par cette économie d'opérateur logiques, peut se traduire par une augmentation de la capacité de calcul qui permet d'améliorer indirectement la rapidité des calculs de corrélation ou par une réduction de la consommation électrique des circuits du composant numérique.

Enfin, un autre intérêt de l'invention réside dans la possibilité qu'elle offre de multiplexer temporellement les calculs et de réduire le nombre d'opérateurs qu'il est nécessaire de mettre en œuvre simultanément. En effet, on peut profiter de ce que la fréquence de fonctionnement du composant numérique (F_{ech}) est beaucoup plus élevée que F_{code} et utiliser un même opérateur à plusieurs reprises, pendant la durée d'un demi chip.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui suit, faite à titre d'exemple non limitatif et en référence aux dessins annexés dans lesquels :

la figure 1 représente des signaux temporels explicitant un
5 procédé de calcul de corrélation selon l'état de la technique ;

la figure 2 sert de support à une présentation du principe, sur un exemple de signaux temporels, des procédés de calcul de quatre corrélations, selon l'invention ;

les figures 3 représentent schématiquement un premier mode de
10 réalisation d'une architecture de corrélateur connue sous le nom de « Multicorrélateur », mettant en œuvre le procédé de calcul selon l'invention ;

les figures 4 représentent schématiquement une première variante de réalisation de l'architecture d'un « Multicorrélateur », mettant en œuvre le procédé de calcul selon l'invention ;

15 les figures 5 représentent schématiquement une deuxième variante de l'architecture d'un « Multicorrélateur », mettant en œuvre le procédé de calcul selon l'invention ;

la figure 6 représente schématiquement un premier mode de réalisation d'une architecture de corrélateur connue sous le nom de « filtre
20 adapté », mettant en œuvre le procédé de calcul selon l'invention ;

la figure 7 représente schématiquement une variante de réalisation de l'architecture d'un « filtre adapté », mettant en œuvre le procédé de calcul selon l'invention .

D'une figure à l'autre, les mêmes éléments sont repérés par les
25 mêmes références.

La figure 1 représente, suivant un même axe temporel, une évolution temporelle $C1(t)$ d'un code pseudo-aléatoire généré par un récepteur d'un système de positionnement par satellite, et une évolution
30 temporelle $S(t)$ d'un signal de radionavigation reçu par le récepteur.

Le code pseudo-aléatoire est un code binaire signé, valant +1 ou -1, qui est généré localement par le récepteur d'un système de positionnement par satellite. Le code généré localement a une durée D_{Code} , il comporte des divisions temporelles élémentaires, appelés chips de code, de
35 durée moyenne D_{chip} . Pour simplifier la représentation de la figure 1, on a

choisi un code comportant quatre chips, mais le code pourrait comporter un nombre beaucoup plus important de chips, par exemple 1024, ou plus. Pendant la durée d'un chip, le code conserve une valeur constante : les valeurs successives prises par le code sont nommées ε_i ou i est un indice
 5 identifiant un chip du code généré par le récepteur.

En réception, les informations contenues dans le signal de radionavigation sont extraites par deux démodulations successives. Une première démodulation permet de transposer le signal reçu en bande de base. Cette démodulation est réalisée à l'aide de porteuses locales
 10 engendrées par un ou plusieurs oscillateurs analogiques (avant échantillonnage) et par un oscillateur numériques piloté en fréquence par le récepteur (après échantillonnage). Une deuxième démodulation permet de dés-étaler la suite d'informations binaires (ou code reçu) présentes dans le signal reçu à l'aide de séquences binaires (ou code local) engendrées
 15 localement par un générateur de séquence binaire pseudo-aléatoire.

La présente invention concerne une simplification de la deuxième démodulation. Dans la suite, on appellera « signal reçu » ou « signal S » un signal analogique qui est échantillonné à une fréquence F_e supérieure à $2/D_{\text{chip}}$ et mis en bande de base. Sur la représentation de la figure 1, des
 20 croix figurent les valeurs échantillonnées du signal reçu.

Selon l'état de la technique, un calcul de corrélation entre un signal reçu et un code généré localement est réalisé en plusieurs étapes :

- réaliser un échantillonnage du code C1 synchrone de l'échantillonnage du signal reçu,
- 25 - multiplier deux à deux les échantillons du code et du signal reçu, correspondant à une même date d'échantillonnage, sur la durée D_{Code} pour déterminer $N_{\text{ech}} = F_e \cdot D_{\text{Code}}$ résultats de produits d'échantillons,
- sommer les résultats de produits d'échantillons.

Le résultat du calcul de corrélation s'exprime sous la forme
 30 suivante : $\text{Corrélation}_1 = \sum_{i=1}^{N_{\text{ech}}} S(t_i) C1(t_i)$

où i est un indice d'échantillonnage, t_i est la i -ième date d'échantillonnage du signal reçu S, $S(t_i)$ est la valeur du signal S à la date t_i et $C1(t_i)$ est la valeur du code à la date t_i .

Conformément à l'expression de Corrélation_1 , un calcul de
 35 corrélation selon l'état de la technique requiert de réaliser successivement

N_{ech} produits entre des échantillons numériques puis $N_{ech}-1$ sommes de résultats de ces produits d'échantillons. Selon l'état de la technique, lorsqu'on réalise une série de M calculs de corrélations élémentaires, le nombre total de produits à réaliser est $M.N_{ech}$ et le nombre d'additions à effectuer vaut $M.(N_{ech}-1)$.

La figure 2 représente, suivant un même axe temporel, quatre évolutions temporelles de code pseudo-aléatoire : $C1(t)$, $C2(t)$, $C3(t)$, $C4(t)$, correspondant à quatre hypothèses de position du code reçu, une évolution temporelle $S(t)$ du signal de radionavigation reçu par le récepteur, et des impulsions générées localement par le récepteur.

Les impulsions sont générées localement par un oscillateur NCO intégré au récepteur, à la fréquence moyenne $1/(2.D_{chip})$, elles déclenchent les transitions entre les chips de code de la séquence $C1$ à la fréquence moyenne $1/D_{chip}$. Les impulsions coïncident avec des instants d'échantillonnage du signal reçu, à la fréquence F_{ech} . Le temps écoulé entre deux impulsions correspond en moyenne à $D_{chip}/2$, mais avec un jitter dû à la non-coïncidence entre la fréquence d'échantillonnage F_{ech} et la fréquence du code local.

L'invention trouve un intérêt particulier lorsque l'on cherche à calculer les résultats d'une série de corrélations entre des premières séquences et une deuxième séquence. Les quatre premières séquences $C1$, $C2$, $C3$, $C4$ ont une durée identique égale à D_{Code} . Les premières séquences $C2$, $C3$ et $C4$ se déduisent de la séquence $C1$ par un décalage temporel correspondant respectivement à la durée d'un demi-chip, d'un chip et d'un chip et demi.

La deuxième séquence résulte d'un échantillonnage à une fréquence F_e d'un signal analogique, la fréquence F_e étant supérieure à $2/D_{chip}$.

La corrélation de $C1$ et de S , appelée $Corrélation_1$, d'une part, la corrélation de $C2$ et de S , appelée $Corrélation_2$, d'autre part, la corrélation de $C3$ et de S , appelée $Corrélation_3$, et enfin la corrélation de $C4$ et de S , appelée $Corrélation_4$ peuvent s'exprimer à l'aide de valeurs σ_i qui sont des résultats de cumuls élémentaires de valeurs d'échantillons consécutifs du signal S à des dates d'échantillonnage t_i sur la durée de l'intervalle d'intégration, c'est à dire à la durée séparant deux impulsions consécutives

de l'oscillateur NCO qui correspond à la durée d'un demi-chip. Etant donné que la valeur prise par S est constante pendant la durée d'un demi-chip, ces quatre corrélations peuvent s'exprimer comme suit :

$$\text{Corr}_1 = \varepsilon_0.\sigma_0 + \varepsilon_0.\sigma_1 + \varepsilon_1.\sigma_2 + \varepsilon_1.\sigma_3 + \varepsilon_2.\sigma_4 + \varepsilon_2.\sigma_5 + \varepsilon_3.\sigma_6 + \varepsilon_3.\sigma_7$$

$$5 \quad \text{Corr}_2 = \varepsilon_0.\sigma_0 + \varepsilon_1.\sigma_1 + \varepsilon_1.\sigma_2 + \varepsilon_2.\sigma_3 + \varepsilon_2.\sigma_4 + \varepsilon_3.\sigma_5 + \varepsilon_3.\sigma_6 + \varepsilon_4.\sigma_7$$

$$\text{Corr}_3 = \varepsilon_1.\sigma_0 + \varepsilon_1.\sigma_1 + \varepsilon_2.\sigma_2 + \varepsilon_2.\sigma_3 + \varepsilon_3.\sigma_4 + \varepsilon_3.\sigma_5 + \varepsilon_4.\sigma_6 + \varepsilon_4.\sigma_7$$

$$\text{Corr}_4 = \varepsilon_1.\sigma_0 + \varepsilon_2.\sigma_1 + \varepsilon_2.\sigma_2 + \varepsilon_3.\sigma_3 + \varepsilon_3.\sigma_4 + \varepsilon_4.\sigma_5 + \varepsilon_4.\sigma_6 + \varepsilon_5.\sigma_7$$

Dans l'exemple représenté sur la figure 2, on comptabilise trente-six échantillons pendant l'intervalle d'intégration D_{Code} . Selon l'état de la technique le calcul des quatre corrélations nécessite (4*35) cent-quarante additions et (4*36) cent-quarante-quatre produits.

Pour calculer selon l'invention les quatre corrélations, on procède tout d'abord au calcul des huit cumuls élémentaires $\sigma_0, \sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4, \sigma_5, \sigma_6, \sigma_7$. Par exemple, σ_0 requiert trois additions pour cumuler les quatre échantillons de S compris entre T_0 et T_1 , σ_1 requiert quatre additions pour cumuler les cinq échantillons de S compris entre T_1 et T_2 , etc... Au total vingt-huit additions sont nécessaires pour déterminer les valeurs des cumuls élémentaires.

Pour chacune des corrélations, on pondère ensuite les huit cumuls élémentaires par des valeurs ε_i adaptées. Les valeurs ε_i adaptées sont les valeurs prises par la séquence de code pendant la durée de l'intervalle d'intégration qui correspond au cumulo élémentaire σ_i . De cette manière, on obtient ainsi huit valeurs de cumuls pondérés que l'on somme entre-elles. Pour chacune des corrélations, les étapes de pondération et de sommation représentent huit nouveaux produits et huit nouvelles additions. Pour l'ensemble des quatre calculs de corrélation, le procédé de calcul selon l'invention nécessite (28+4*8) soixante additions et (4*8) trente-deux produits, ce qui représente dans cet exemple, une réduction du nombre d'additions égale à cinquante-sept pour-cents et une réduction du nombre de produits égale à soixante-dix-huit pour-cents par rapport au même calcul effectué selon l'état de la technique.

Dans les expressions de $\text{Corr}_1, \text{Corr}_2, \text{Corr}_3, \text{Corr}_4$, il est possible de mettre en facteur les valeurs de ε_i . Ce faisant, on aboutit alors à quatre nouvelles expressions des corrélations à calculer :

$$35 \quad \text{Corr}_1 = \varepsilon_0.(\sigma_0 + \sigma_1) + \varepsilon_1.(\sigma_2 + \sigma_3) + \varepsilon_2.(\sigma_4 + \sigma_5) + \varepsilon_3.(\sigma_6 + \sigma_7)$$

$$\text{Corr}_2 = \varepsilon_0 \cdot \sigma_0 + \varepsilon_1 \cdot (\sigma_1 + \sigma_2) + \varepsilon_2 \cdot (\sigma_3 + \sigma_4) + \varepsilon_3 \cdot (\sigma_5 + \sigma_6) + \varepsilon_4 \cdot \sigma_7$$

$$\text{Corr}_3 = \varepsilon_1 \cdot (\sigma_0 + \sigma_1) + \varepsilon_2 \cdot (\sigma_2 + \sigma_3) + \varepsilon_3 \cdot (\sigma_4 + \sigma_5) + \varepsilon_4 \cdot (\sigma_6 + \sigma_7)$$

$$\text{Corr}_4 = \varepsilon_1 \cdot \sigma_0 + \varepsilon_2 \cdot (\sigma_1 + \sigma_2) + \varepsilon_3 \cdot (\sigma_3 + \sigma_4) + \varepsilon_4 \cdot (\sigma_5 + \sigma_6) + \varepsilon_5 \cdot \sigma_7$$

Ces nouvelles expressions mettent en lumière une variante du
 5 procédé selon l'invention pour réaliser un calcul des quatre corrélations en réduisant encore plus le nombre d'additions et de produits à effectuer.

En effet, pour réaliser ces quatre calculs de corrélations, on observe que l'on peut simplifier les calculs en stockant des doubles cumuls élémentaires qui sont constitués par une somme de deux valeurs
 10 consécutives de σ_i . Soit, par exemple, quatre doubles cumuls élémentaires $(\sigma_0 + \sigma_1)$, $(\sigma_2 + \sigma_3)$, $(\sigma_4 + \sigma_5)$, $(\sigma_6 + \sigma_7)$ pour calculer les expressions Corr_1 et Corr_3 et trois doubles cumuls élémentaires $(\sigma_1 + \sigma_2)$, $(\sigma_3 + \sigma_4)$, $(\sigma_5 + \sigma_6)$ pour calculer les expressions Corr_2 et Corr_4 .

Dans ce cas, en plus des vingt-huit additions nécessaires pour
 15 calculer individuellement les huit cumuls élémentaires, on procède simplement à sept nouvelles additions pour calculer les sept doubles cumuls élémentaires. Selon le calcul de corrélation, on pondère ensuite un cumul élémentaire, ou un double cumul élémentaire par une valeur ε_i adaptée afin d'obtenir des facteurs que l'on somme entre eux. Pour l'ensemble des quatre
 20 calculs de corrélation, la variante du procédé de calcul selon l'invention requiert donc au total quarante-neuf additions et dix-huit produits, ce qui représente dans cet exemple, une réduction du nombre d'additions égale à soixante cinq pour-cents et une réduction du nombre de produits égale à quatre-vingt huit pour-cents par rapport au même calcul de corrélation
 25 effectué selon l'état de la technique

Les figures 3 illustrent le principe d'un premier mode de réalisation d'un dispositif selon l'invention connue sous les noms « Multi-corrélateurs », « Active Parallel Correlator », en anglais ou sous l'acronyme ACP. Un récepteur de signal satellite d'un système de positionnement par satellite
 30 acquiert sur une durée D_{Code} un signal analogique de radionavigation S et l'échantillonne à une fréquence F_e . Le récepteur calcule des résultats de corrélation entre le signal S et un code généré localement sur le récepteur.

Le code pseudo-aléatoire généré localement est un signal qui comporte des chips de durée moyenne D_{chip} pendant lesquels le code
 35 conserve une valeur constante ε_i . Des impulsions, générées par un

oscillateur NCO qui est intégré au récepteur, pilotent des transitions entre les chips à la fréquence moyenne $F_{\text{Code}} = 1/D_{\text{chip}}$. D'autres impulsions générées par cet oscillateur NCO à une fréquence $2.F_{\text{Code}}$, sont également employées pour piloter un échantillonnage du code à cette fréquence et cadencer des cumuls d'échantillons de code réalisés entre deux impulsions successives.

5 La fréquence F_{Code} est inférieure à la moitié de la fréquence d'échantillonnage de S, c'est à dire inférieure à $F_e/2$.

On exprime le code échantillonné à la fréquence $2.F_{\text{Code}}$ sous la forme d'une suite ε_i , dont deux composantes consécutives sont identiques,

10 où i est un indice d'échantillon de code pouvant aller par exemple de 0 à $p-1$ où p est égal à la partie entière de $D_{\text{Code}}/D_{\text{chip}}$. Les valeurs prises par le code échantillonné à la fréquence $2.F_{\text{Code}}$, sont transmises séquentiellement dans un registre à décalage, cadencé avec les impulsions à la fréquence $2.F_{\text{Code}}$ générées par l'oscillateur NCO.

15 Les figures 3a, 3b et 3c représentent le même dispositif de calcul de corrélation à trois instants successifs t_0 , $t_0 + D_{\text{chip}}/2$ et $t_0 + D_{\text{chip}}$ correspondant à une nouvelle impulsion de l'oscillateur.

Entre les figures 3a, 3b, et 3c les valeurs ε_i stockées dans les registres 15, se sont déplacées de la gauche vers la droite de la figure. De

20 façon synchrone, le contenu de chaque registre 15 du registre à décalage est envoyés vers une première entrée d'opérateur multiplicatif 16.

Parallèlement, un dispositif d'accumulation CML, 1 cumule des échantillons du signal S sur une durée séparant deux impulsions consécutives de l'oscillateur NCO, c'est à dire en moyenne sur la durée

25 $D_{\text{chip}}/2$. Dans la suite, on note σ_j ces cumuls d'échantillons, où j est un indice de cumul élémentaire pouvant aller par exemple de 0 à $2.(p-1)$.

Les valeurs prises par les cumuls élémentaires, sont envoyées séquentiellement sur les deuxièmes entrées des opérateurs multiplicatifs 16. Ces envois sont synchronisés avec les impulsions de l'oscillateur NCO. Sur

30 les figures 3a, 3b et 3c, on envoie successivement σ_N , σ_{N+1} et σ_{N+2} sur les deuxièmes entrées des opérateurs multiplicatifs 16.

Avantageusement, les résultats de cumuls élémentaires sont employés pour déterminer des résultats de calculs de corrélations entre des premières séquences et une deuxième séquence, les premières séquences

35 se déduisant l'une de l'autre par un décalage temporel de durée $D_{\text{chip}}/2$.

Sur une sortie, chaque opérateur multiplicatif 16, délivre à la fréquence $2.F_{\text{code}}$ un résultat d'un produit d'un code échantillonné ε_i et d'un cumul élémentaires σ_j . Ce résultat correspond à une étape de pondération de chaque cumul élémentaire σ_i par une valeur de la séquence de code ε_i pendant l'intervalle d'intégration correspondant au calcul de σ_i . Ces résultats sont accumulés en sortie des opérateurs multiplicatifs dans des dispositifs accumulateurs Σ 18.

Avantageusement, le procédé selon l'invention comporte en outre, pour chaque première séquence :

- 10 - une étape de pondération de chaque résultat de cumul élémentaire de la deuxième séquence par la valeur du chip de la première séquence au début du cumul élémentaire, pour obtenir des résultats de cumuls pondérés
- une étape d'accumulation des résultats de cumuls pondérés.

15 Avantageusement, l'étape d'accumulation délivre au moins un résultat après p impulsions successives de l'oscillateur NCO, où p est égal à la partie entière de $D_{\text{Code}}/D_{\text{chip}}$.

Si avant l'instant t_0 qui correspond à la figure 3a, les sommateurs sont vides, ils collectent à l'instant $t_0 + D_{\text{chip}}$, qui correspond à la figure 3c, trois valeurs de cumuls pondérés constitués comme des produits d'un cumul élémentaire et d'un code échantillonné.

Après un grand nombre d'impulsions, par exemple 2048, on dispose simultanément d'autant de résultats de calculs de corrélation que le registre à décalages compte de registres. Ces résultats acquis en parallèles sont régulièrement envoyés à un calculateur qui peut, en fonction des résultats de calculs de corrélation collectés, décider de reprendre des calculs de corrélations avec un code local retardé ou avancé. C'est la raison pour laquelle cette méthode est qualifiée d'«active».

La figure 4 représente une variante de l'architecture d'un « Multicorrélateur ». Cette variante consiste à permuter les rôles du codes et du signal.

Dans le dispositif selon l'invention présenté sur les figures 3, les calculs de corrélations sont réalisés entre des premières séquences extraites d'un signal numérique comportant un code local et une deuxième séquence résultant d'un échantillonnage à une fréquence F_e d'un signal reçu, les

premières séquences étant décalées temporellement l'une par rapport à l'autre pour chaque calcul de corrélation. Dans la variante présentée sur les figures 4, les calculs de corrélations sont réalisés entre une première séquence extraite d'un signal numérique comportant un code local et des
5 deuxièmes séquences résultant d'un échantillonnage à une fréquence F_e d'un signal reçu, les deuxièmes séquences étant décalées temporellement l'une par rapport à l'autre pour chaque calcul de corrélation.

Les figures 4a, 4b et 4c représentent le même dispositif de calcul de corrélation à trois instants successifs t_0 , $t_0 + D_{\text{chip}}/2$ et $t_0 + D_{\text{chip}}$
10 correspondant à une nouvelle impulsion de l'oscillateur NCO.

Avantageusement, les résultats de cumuls élémentaires sont employés pour déterminer des résultats de calculs de corrélations entre une première séquence et des deuxièmes séquences, les deuxièmes séquences se déduisant l'une de l'autre par un décalage temporel de durée $D_{\text{chip}}/2$.

15 Avantageusement, le procédé selon l'invention comporte en outre, pour chaque deuxième séquence :

- une étape de pondération de chaque résultat de cumul élémentaire de la deuxième séquence par la valeur du chip de la première séquence au début du cumul élémentaire, pour obtenir des résultats de
20 cumuls pondérés,

- une étape d'accumulation des résultats de cumuls pondérés.

Les figures 5 représentent une deuxième variante de l'architecture d'un « Multicorrélateur ». L'avantage de cette variante tient dans une réduction du nombre des opérations (sommes et produits) à effectuer pour
25 obtenir des résultats de calculs de corrélation entre le code et le signal atteint au moyen d'une mise en facteur réalisée par une sommation préalable de deux cumuls élémentaires.

Le principe de cette variante consiste à intercaler, entre une étape de cumul d'échantillons du signal S donnant accès aux résultats de cumuls
30 élémentaires, et un transfert des cumuls élémentaire vers un registre à décalage, une étape de sommation de deux cumuls élémentaires consécutifs pour obtenir des résultats de double cumul élémentaire.

Cette étape de sommation est représentée sur la figure 5 par un opérateur doubleur DBL, 10 délivrant une somme de deux cumuls
35 élémentaires consécutifs pour chaque nouvelle impulsion de l'oscillateur

NCO après l'élaboration des cumuls élémentaires par le dispositif d'accumulation CML.

Dans cette variante ce sont les doubles cumuls élémentaires qui sont transférés vers le registres à décalage cadencé par les impulsions du
5 NCO.

Les figures 5a, 5b et 5c représentent le même dispositif de calcul de corrélation à trois instants successifs t_0 , $t_0 + D_{\text{chip}}/2$ et $t_0 + D_{\text{chip}}$ correspondant chacun à une nouvelle impulsion de l'oscillateur NCO.

Si à l'instant t_0 ; l'opérateur doubleur DBL délivre la valeur
10 $\sigma_{N+2} + \sigma_{N+1}$, à l'instant $t_0 + D_{\text{chip}}/2$, l'opérateur doubleur délivre la valeur $\sigma_{N+3} + \sigma_{N+2}$ et à l'instant $t_0 + D_{\text{chip}}$, l'opérateur doubleur délivre la valeur $\sigma_{N+4} + \sigma_{N+3}$.

On constate qu'il existe un recouvrement entre les valeurs délivrées par l'opérateur doubleur, ainsi la valeur σ_{N+1} est présente en sortie
15 de l'opérateur doubleur aux instants t_0 et $t_0 + D_{\text{chip}}/2$, ce qui est inutile pour le calcul des corrélations. Ceci impose qu'une impulsion sur deux, ici à l'instant $t_0 + D_{\text{chip}}/2$, les valeurs présentes dans les registre 15 du registre à décalage ne sont ni pondérées par des valeurs du codes ni a fortiori accumulées dans des dispositifs accumulateurs Σ contrairement aux deux dispositif de
20 multicorrélateur présentés sur les figures 3 et 4.

Les opérateurs multiplicatifs et les dispositifs accumulateurs Σ qui sont présents sur la figure 5a ne sont pas représentés sur la figure 5b, afin d'illustrer l'absence de l'étape de pondération et de sommation à instant
25 $t_0 + D_{\text{chip}}/2$. En réalité, ces dispositifs sont réellement présents mais ils ne sont pas actifs à cet instant.

Avantageusement, le procédé selon l'invention comporte :

- une étape de sommation de deux résultats de cumuls élémentaires consécutifs pour obtenir des résultats de double cumul élémentaire,
- 30 - une étape de pondération de chaque résultat de double cumul élémentaire de la deuxième séquence par la valeur du code de la première séquence pour obtenir des résultats de cumuls doubles pondérés,
- une étape d'accumulation des résultats de cumuls doubles pondérés.

La figure 6 représente un deuxième mode de réalisation d'un dispositif selon l'invention. Ce deuxième mode de réalisation concerne la mise en œuvre d'une architecture de corrélateur connue sous les noms « filtre adapté », « Passive Matched filtering » en anglais ou sous l'acronyme PMF.

Les figures 6a, 6b représentent le même dispositif de calcul de corrélation à deux instants successifs t_0 , $t_0 + D_{\text{chip}}/2$ correspondant chacun à une nouvelle impulsion de l'oscillateur NCO.

Comme dans le dispositif décrit dans la figure 4a, un dispositif d'accumulation CML, 1 cumule des échantillons du signal S sur une durée séparant deux impulsions consécutives de l'oscillateur NCO, c'est à dire en moyenne sur la durée $D_{\text{chip}}/2$. Ces cumuls d'échantillons sont notés σ_j , où j est un indice de cumul élémentaire pouvant aller par exemple de 0 à $2.(p-1)$.

Les valeurs prises par les cumuls élémentaires σ_j , sont envoyées séquentiellement sur un registre à décalages comportant un nombre égal à $2.p$ registres qui est très supérieur au nombre de registre rencontré pour les registres à décalage des « multicorrélateurs ». Le contenu de chaque registre est transmis à une première entrée d'un opérateur multiplicatif 16. Sur les figures 6, les registres du registre à décalages sont représenté verticalement.

Les opérateurs multiplicatifs comportent une deuxième entrée sur laquelle est présentée une valeur de code échantillonnée ε_i . Cette valeur reste constante pendant la durée des calcul de corrélation. Les opérateurs multiplicatifs sont groupés par couples, les opérateurs appartenant à un même couple reçoivent sur leur deuxième entrée une valeur ε_i identique.

Ainsi à l'instant t_0 qui correspond à une impulsion de l'oscillateur NCO, chaque opérateur multiplicatif 16, délivre, sur une sortie, un résultat d'un produit d'un code échantillonné ε_i et d'un cumul élémentaire σ_j . Ce résultat correspond à une étape de pondération de chaque cumul élémentaire σ_j par une valeur de la séquence de code ε_i pendant l'intervalle d'intégration correspondant au calcul de σ_j . Les résultats issus de deux opérateurs multiplicatifs 16, sont transférés sur une première et une deuxième entrée d'un dispositif sommateur 19 délivrant une somme des cumuls pondérés placés sur la première et la deuxième entrée.

Les résultats des sommes de cumuls pondérés sont ensuite sommées deux à deux au moyen d'une succession de dispositifs sommateurs 19, disposés en pyramide ou arbre de sommation. Quelques exemplaires de dispositif sommateurs 19, constituant une fraction de la pyramide sont représentés sur la figure 6a.

Des dispositifs de stabilisation τ_1 , 20, sont intercalés entre chaque dispositif sommateur 19. L'action d'un dispositif de stabilisation intercalé entre un premier et un deuxième dispositif sommateur 19 consiste à stabiliser le signal électrique en sortie du premier dispositif sommateur avant qu'il alimente une entrée du deuxième dispositif sommateur, au prix d'un retard de propagation dans la pyramide. La sortie du dispositif sommateur 19 au sommet de la pyramide constitue le résultat de la corrélation Corr_1 .

A chaque impulsion de l'oscillateur NCO une nouvelle valeur de cumul élémentaire est transférée au registre à décalages, tous les contenus des registres 15 sont transférés au registre directement voisin, c'est à dire que le contenu d'un registre est décalé d'un registre vers le bas à chaque impulsion, et un nouveau résultat de corrélation, Corr_2 est disponible sur le dispositif sommateur 19 du sommet de la pyramide, après une durée de propagation physique des signaux électrique pour le parcours de la pyramide, de la gauche vers la droite.

Avantageusement, l'étape d'accumulation délivre un résultat à chaque impulsion de l'oscillateur NCO.

Ce mode de réalisation est qualifié de « passif » car, en régime permanent, il permet d'accéder à chaque impulsion de l'opérateur NCO à un nouveau résultat de calcul de corrélation. Sur une longueur d'intervalle d'intégration égale, le nombre de résultats de corrélation collectés est nettement plus élevé que celui déterminé par un dispositif « multicorrélateur ». Cet avantage permet d'éviter de recourir à une étape d'analyse par un calculateur pour définir le retard ou l'avance à assigner au code à tester.

Les figures 7 représentent une variante du dispositif selon l'invention représenté sur les figures 6. Les figures 7a, 7b représentent le même dispositif de calcul de corrélation à deux instants successifs t_0 , $t_0 + D_{\text{chip}}/2$ correspondant chacun à une nouvelle impulsion de l'oscillateur NCO.

Un dispositif d'accumulation CML, 1 cumule des échantillons du signal S sur une durée séparant deux impulsions consécutives de l'oscillateur NCO, c'est à dire en moyenne sur la durée $D_{\text{chip}}/2$. Ces cumuls d'échantillons sont notés σ_j , où j est un indice de cumul élémentaire pouvant aller par exemple de 0 à $2.(p-1)$.

Le principe de cette variante consiste à intercaler, entre une étape de cumul d'échantillons du signal S donnant accès aux résultats de cumuls élémentaires, et un transfert des cumuls élémentaire vers un registre à décalage, une étape de sommation de deux cumuls élémentaires consécutifs pour obtenir des résultats de double cumul élémentaire.

Cette étape de sommation est représentée sur la figure 7 par un opérateur doubleur DBL, 10 délivrant une somme de deux cumuls élémentaires consécutifs pour chaque nouvelle impulsion de l'oscillateur NCO après l'élaboration des cumuls élémentaires par le dispositif d'accumulation CML.

Les valeurs des sommes de deux cumuls élémentaires consécutifs $\sigma_j + \sigma_{j+1}$, appelées « double cumul élémentaire », sont envoyées séquentiellement sur un registre à décalages comportant $2.p$ registres identique à celui représenté sur les figures 6. Le contenu d'un registre sur deux est transmis à une première entrée d'un opérateur multiplicatif 16.

Les opérateurs multiplicatifs 16, comportent une deuxième entrée sur laquelle est présentée une valeur de code échantillonnée ε_i . Cette valeur reste constante pendant la durée des calculs de corrélation. Ainsi, à l'instant t_0 qui correspond à une impulsion de l'oscillateur NCO, chaque opérateur multiplicatif 16, délivre, sur une sortie, un résultat d'un produit d'un code échantillonné ε_i et d'un double cumul élémentaire. Ce résultat correspond à une étape de pondération de chaque double cumul élémentaire par une valeur de code ε_i . Les résultats issus de deux opérateurs multiplicatifs 16, sont transférés sur une première et une deuxième entrée d'un dispositif sommateur 19, délivrant la somme des cumuls doubles pondérés placés sur la première et la deuxième entrée.

Les résultats des sommes des cumuls doubles pondérés sont ensuite sommées deux à deux au moyen d'une succession de dispositifs sommateurs 19, disposés en pyramide. Quelques exemplaires de dispositif

sommateurs 19, constituant une fraction de la pyramide sont représentés sur la figure 7a.

Des dispositifs de stabilisation τ_1 20, sont intercalés entre chaque dispositif sommateur 19. La sortie du dispositif sommateur 19 au sommet de la pyramide constitue le résultat de la corrélation Corr_1 .

A chaque impulsion de l'oscillateur NCO une nouvelle valeur de double cumul élémentaire est transférée au registre à décalages, tous les contenus des registres 15 sont transférés au registre directement voisin, c'est à dire que le contenu d'un registre est décalé d'un registre vers le bas à chaque impulsion, et un nouveau résultat de corrélation : Corr_2 est disponible sur le dispositif sommateur 19 du sommet de la pyramide.

Avantageusement, la première séquence est un code pseudo-aléatoire de type BPSK et le signal analogique comporte une porteuse modulée par le code pseudo-aléatoire.

Avantageusement, le signal analogique comporte une modulation par une sous-porteuse.

Avantageusement, un récepteur de signal de radionavigation comporte un composant numérique de type ASIC ou FPGA apte à mettre en œuvre le procédé selon l'invention.

REVENDICATIONS

1. Procédé de calcul de corrélations entre une première séquence et une deuxième séquence, ladite première séquence et ladite deuxième séquence ayant chacune une durée D_{Code} , la première séquence étant extraite d'un signal numérique comportant un code, ledit code comportant
- 5 des divisions temporelles élémentaires, appelées chips, d'une durée D_{chip} , lesdits chips étant échantillonnés sur des impulsions délivrées par un oscillateur NCO à la fréquence moyenne $2/D_{\text{chip}}$, la deuxième séquence résultant d'un échantillonnage à une fréquence F_e d'un signal analogique, la fréquence F_e étant supérieure à $2/D_{\text{chip}}$, ledit procédé comportant une étape
- 10 de cumul des échantillons de la deuxième séquence, sur des intervalles d'intégration consécutifs de durée égale en moyenne à $D_{\text{chip}}/2$, débutant à chaque impulsion de l'oscillateur NCO, pour déterminer des résultats de cumuls élémentaires, les résultats de cumuls élémentaires étant employés pour déterminer des résultats de calculs de corrélations entre une première
- 15 séquence et des deuxièmes séquences, les deuxièmes séquences se déduisant l'une de l'autre par un décalage temporel de durée $D_{\text{chip}}/2$, caractérisé en ce qu'il comporte les étapes suivantes :
- une étape de sommation de deux résultats de cumuls élémentaires consécutifs pour obtenir des résultats de double cumul élémentaire ;
 - 20 - une étape de pondération de chaque résultat de double cumul élémentaire de la deuxième séquence par la valeur du code de la première séquence pour obtenir des résultats de cumuls doubles pondérés ;
 - une étape d'accumulation des résultats de cumuls doubles pondérés.
- 25 2. Procédé de calcul de corrélations selon la revendication 1, connu sous le nom « multicorrélateur », caractérisé en ce que l'étape d'accumulation délivre au moins un résultat après p impulsions successives de l'oscillateur NCO, où p est égal à la partie entière de $D_{\text{Code}}/D_{\text{chip}}$.
- 30 3. Procédé de calcul de corrélations selon la revendication 1, connu sous le nom « filtre adapté », caractérisé en ce que l'étape d'accumulation délivre un résultat à chaque impulsion de l'oscillateur NCO.

4. Procédé de calcul de corrélations selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que la première séquence est un code pseudo-aléatoire, le signal analogique comporte une porteuse modulée par le code pseudo-aléatoire et en ce que la modulation est de type BPSK.

5

5. Procédé de calcul de corrélations selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que le signal analogique comporte une modulation par une sous-porteuse.

10

6. Récepteur d'un signal de radionavigation, caractérisé en ce qu'il comprend un composant numérique de type ASIC ou FPGA apte à mettre en œuvre le procédé selon l'une des revendications 1 à 5.

1/11

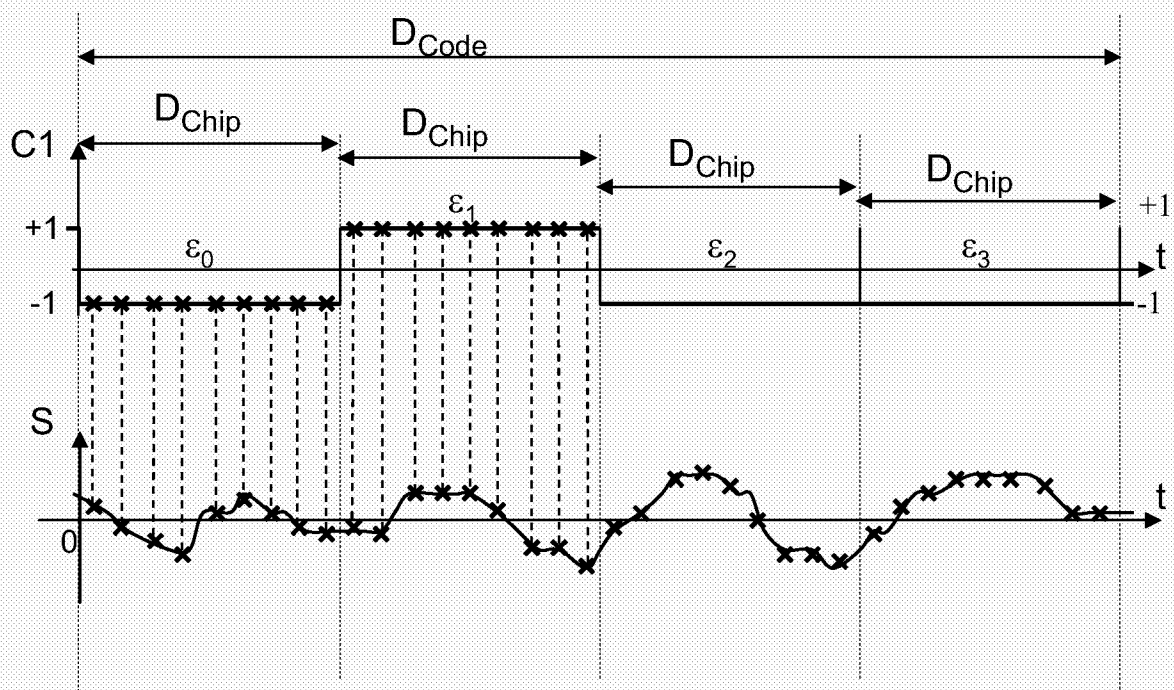


FIG.1

2/11

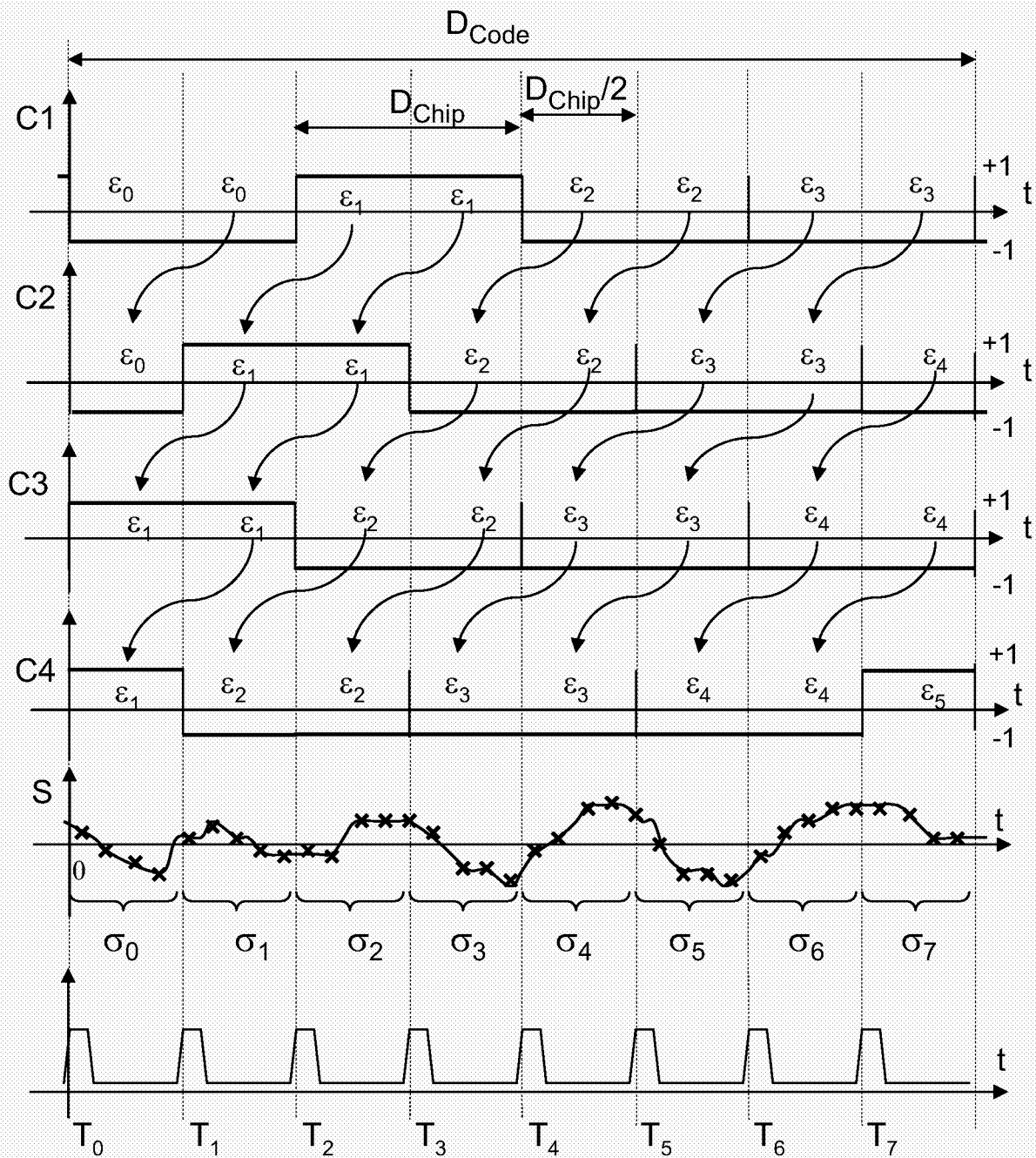


FIG.2

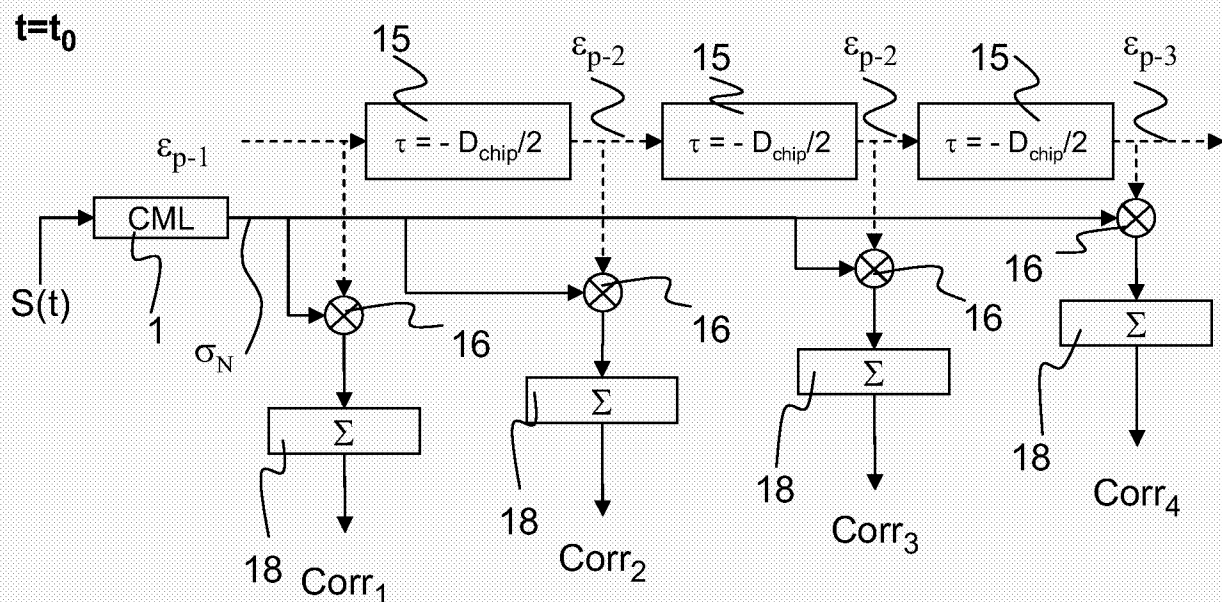


FIG.3a

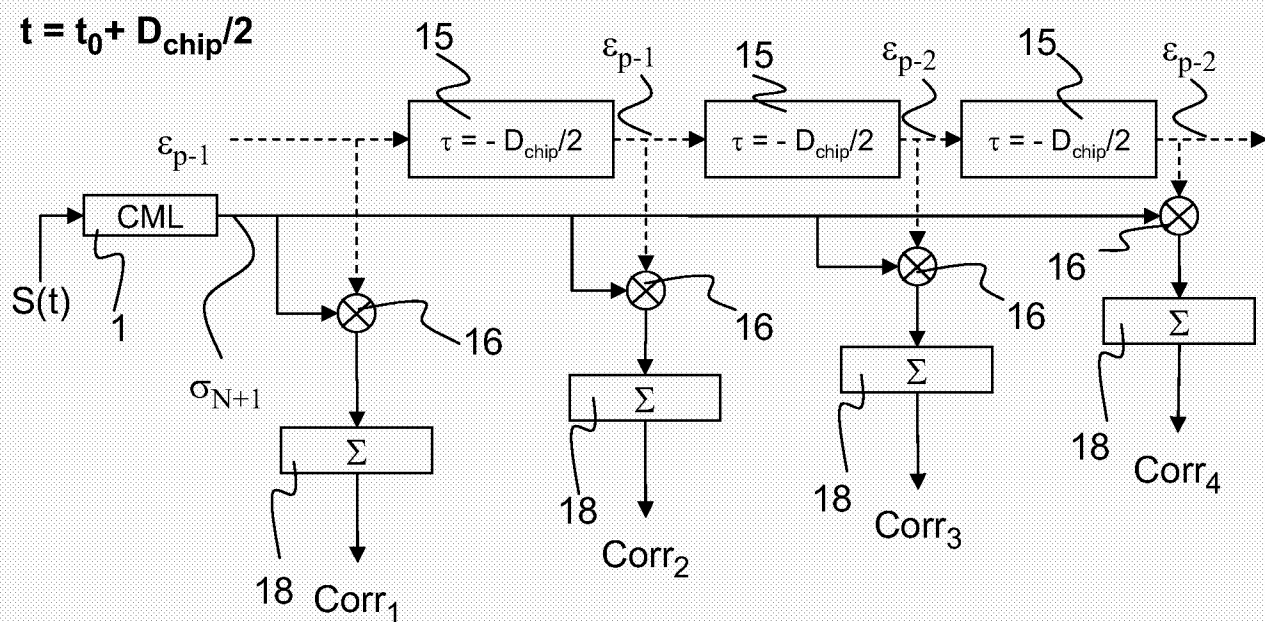


FIG.3b

4/11

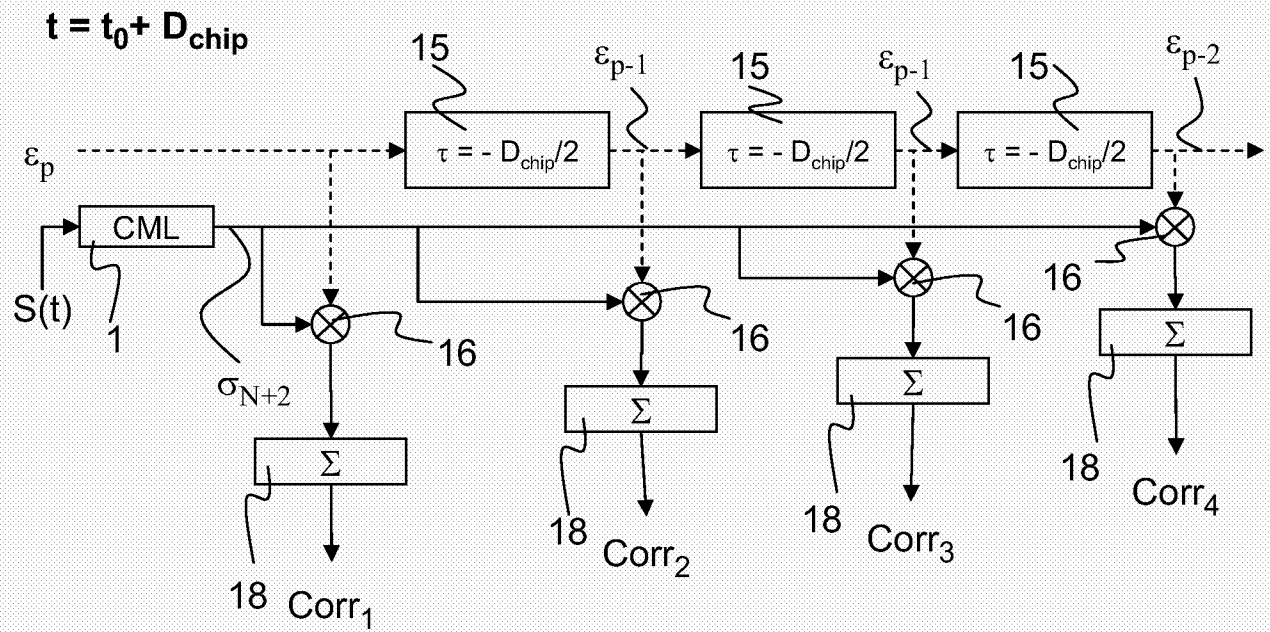


FIG.3c

5/11

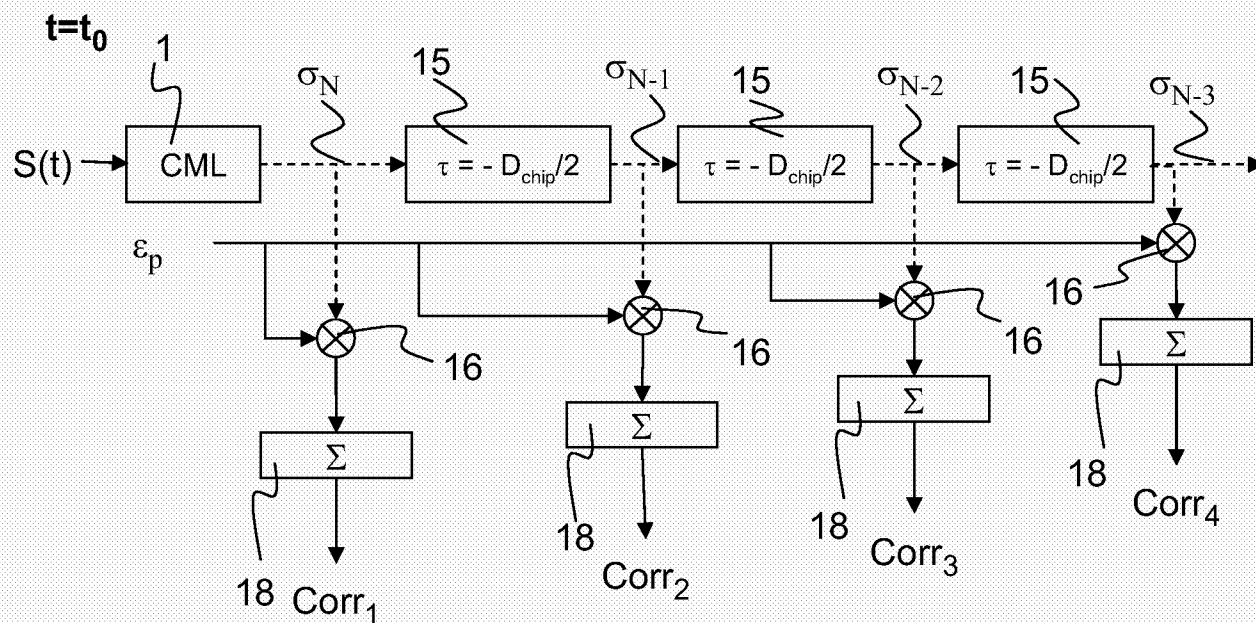


FIG.4a

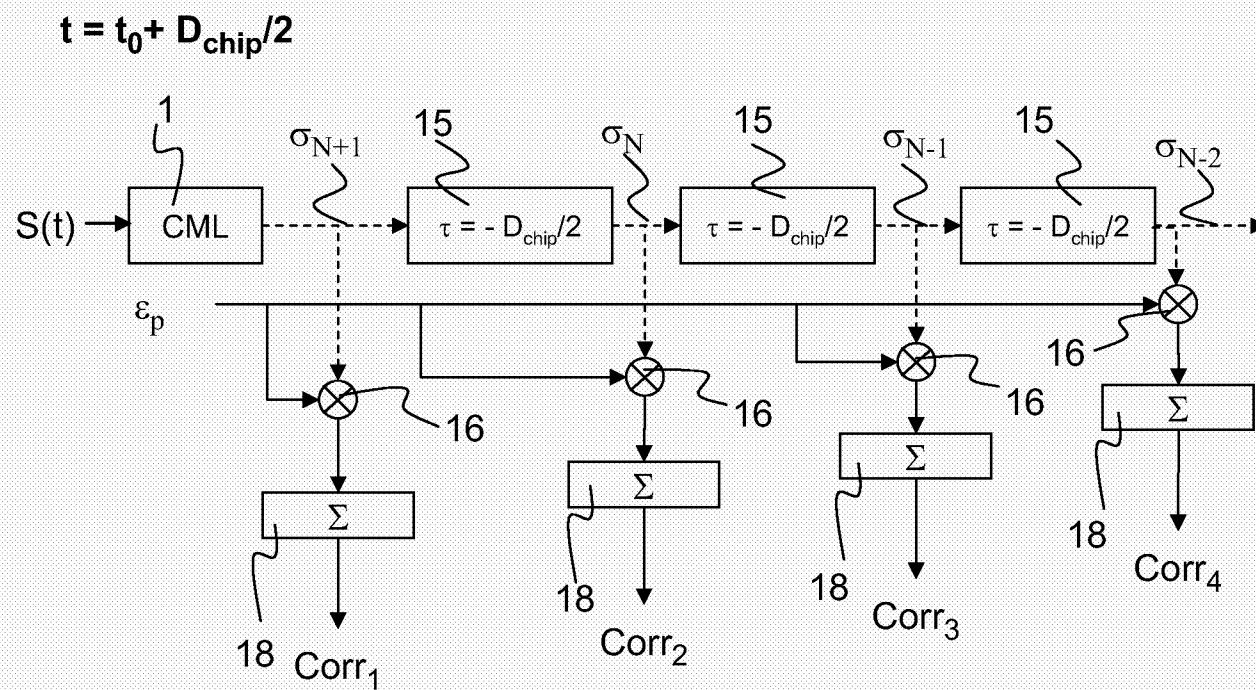


FIG.4b

6/11

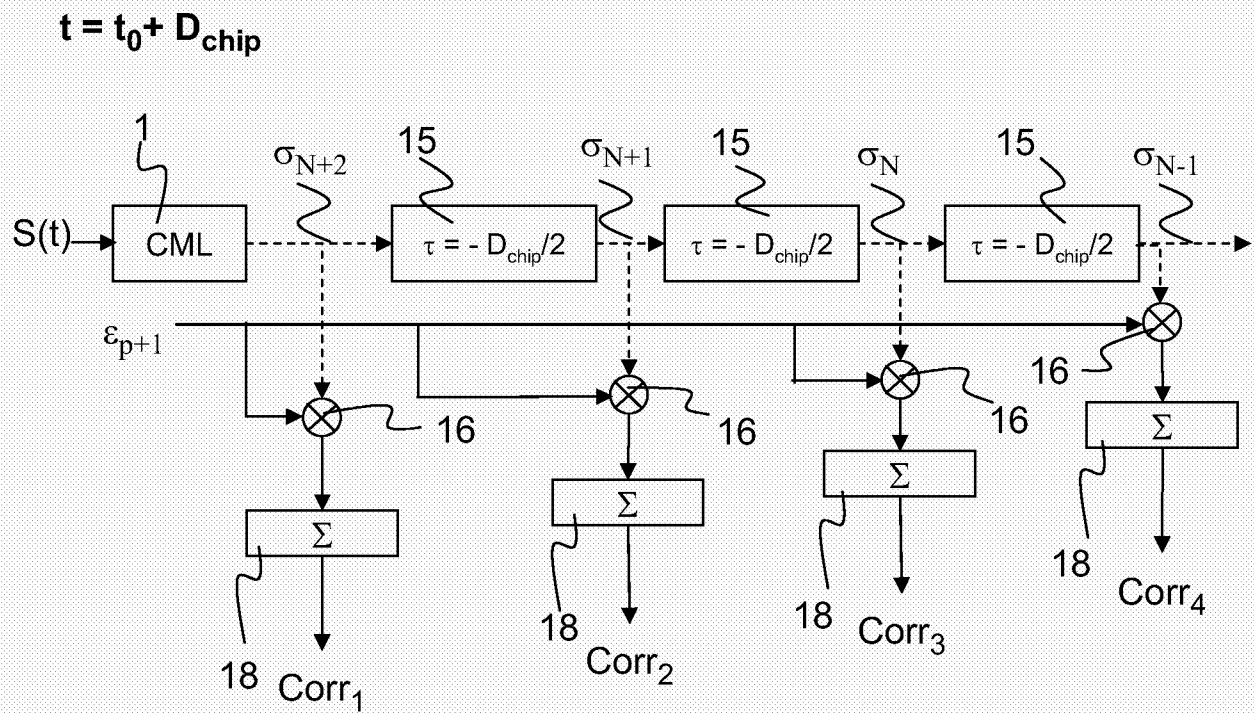


FIG.4c

7/11

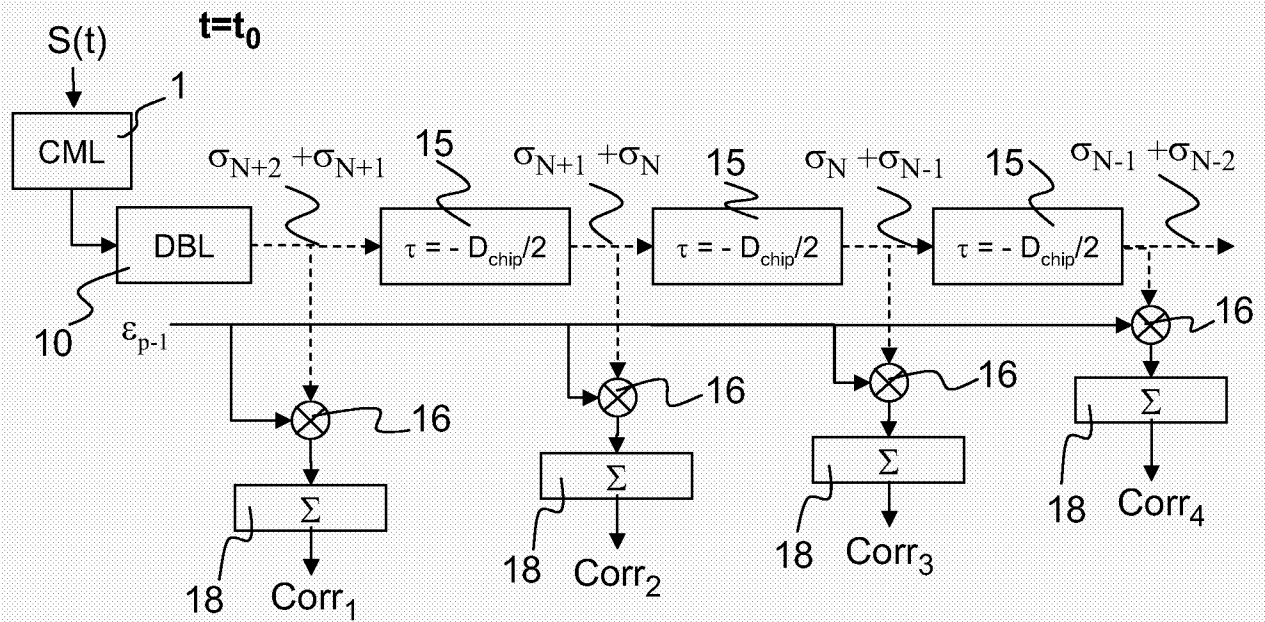


FIG. 5a

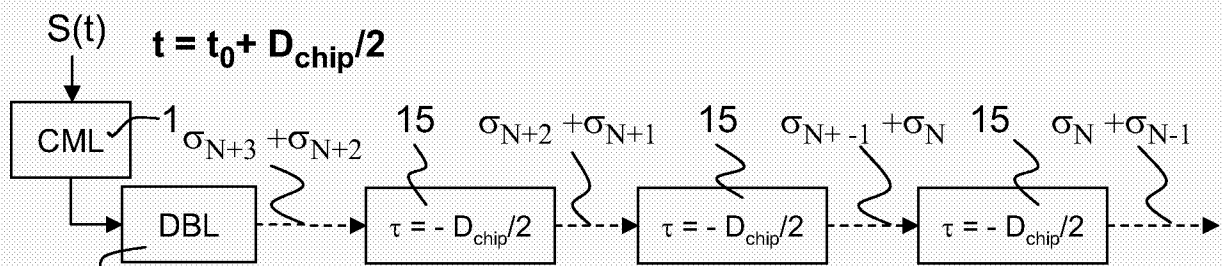


FIG. 5b

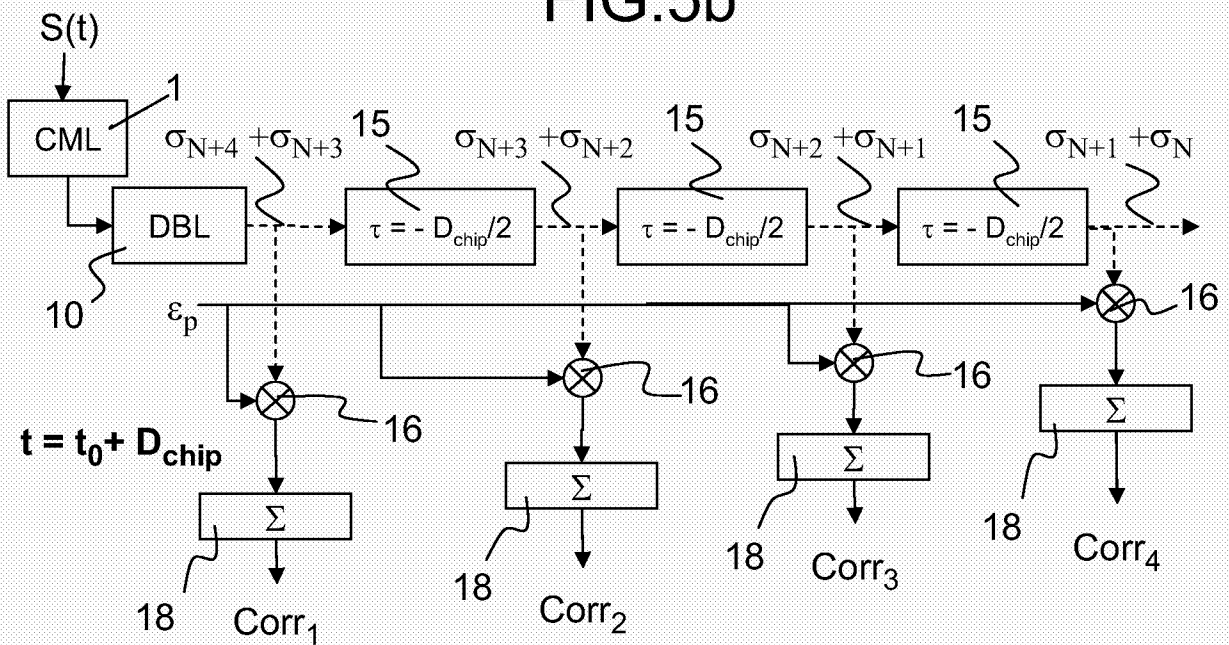


FIG. 5c

8/11

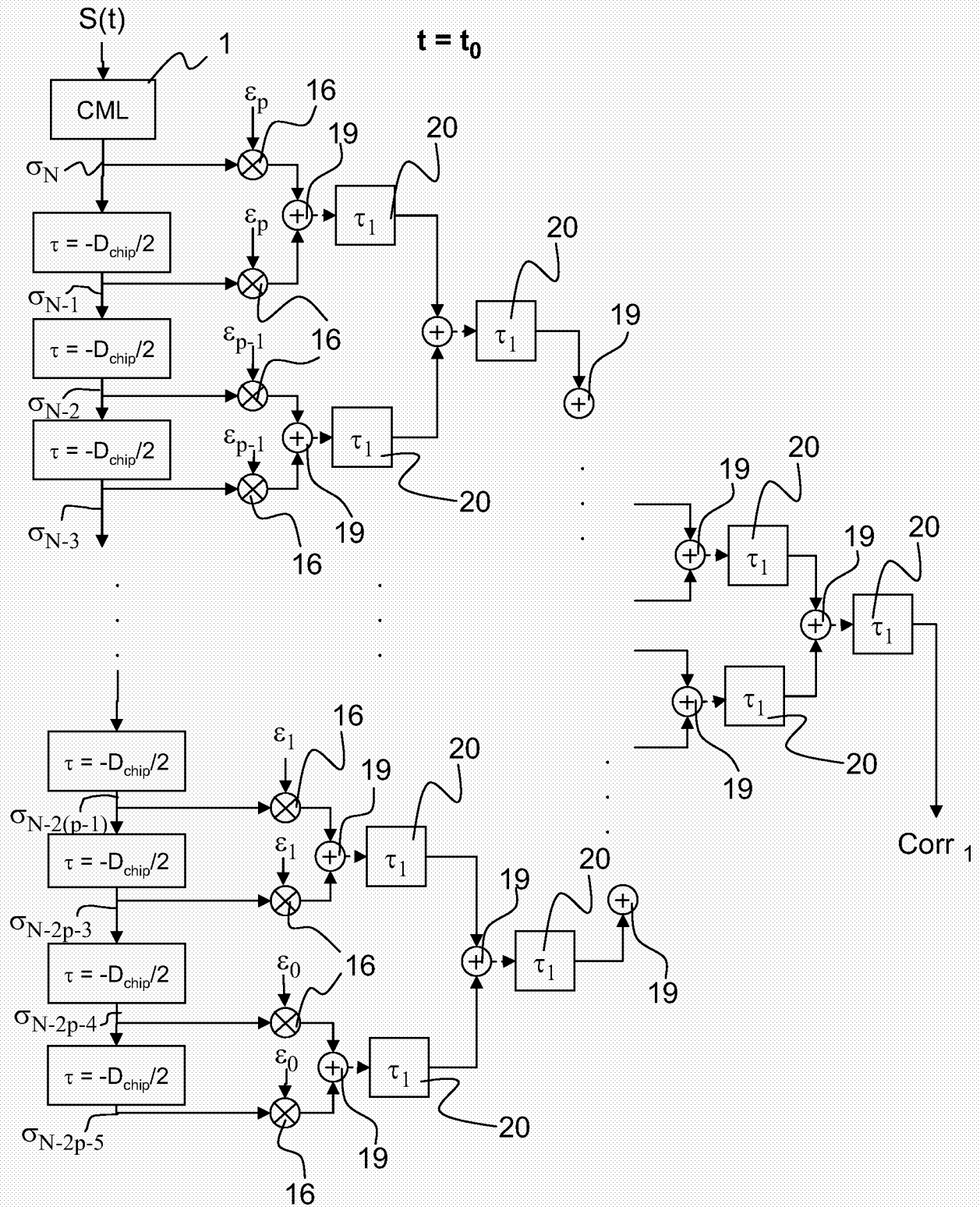


FIG.6a

9/11

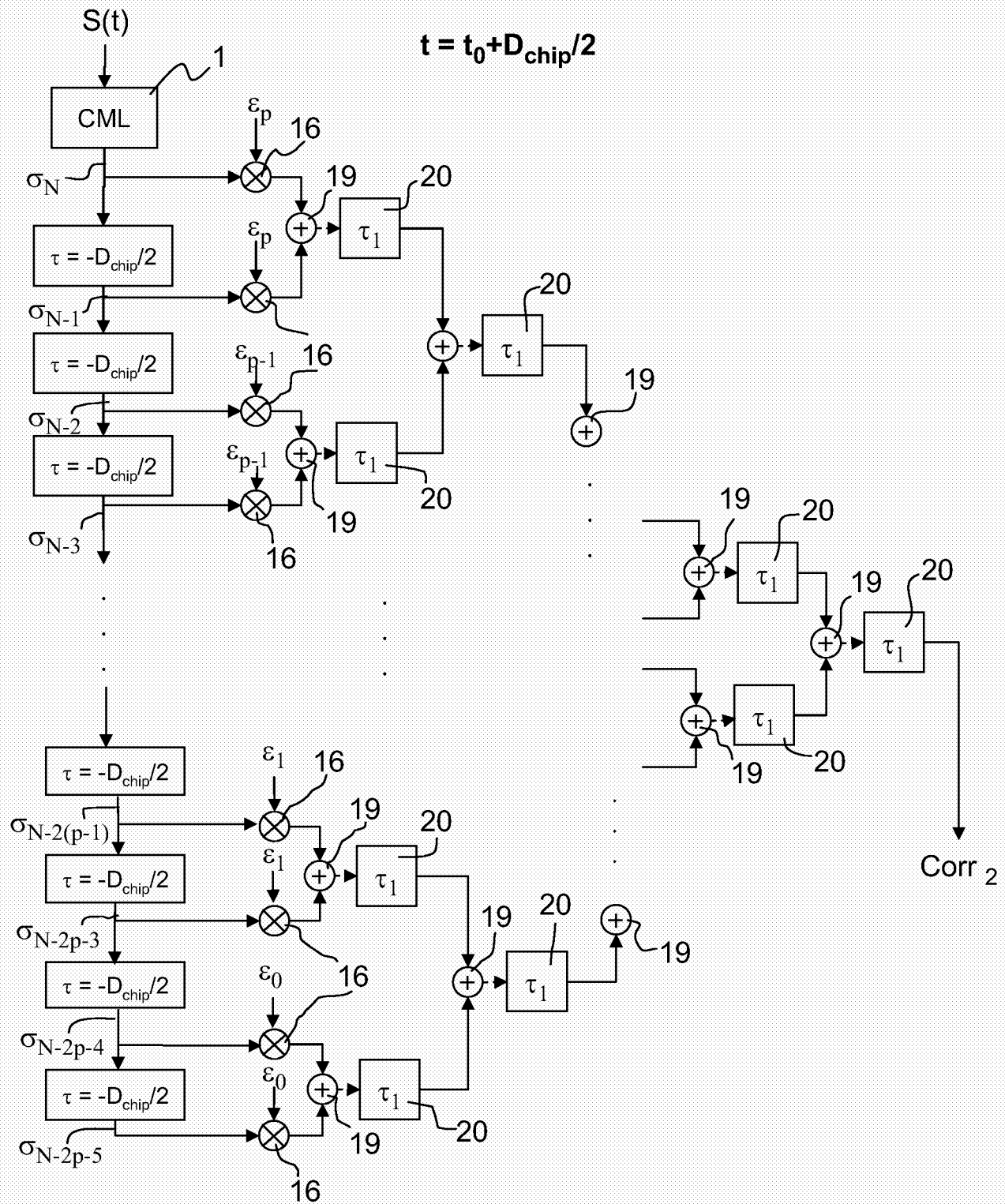
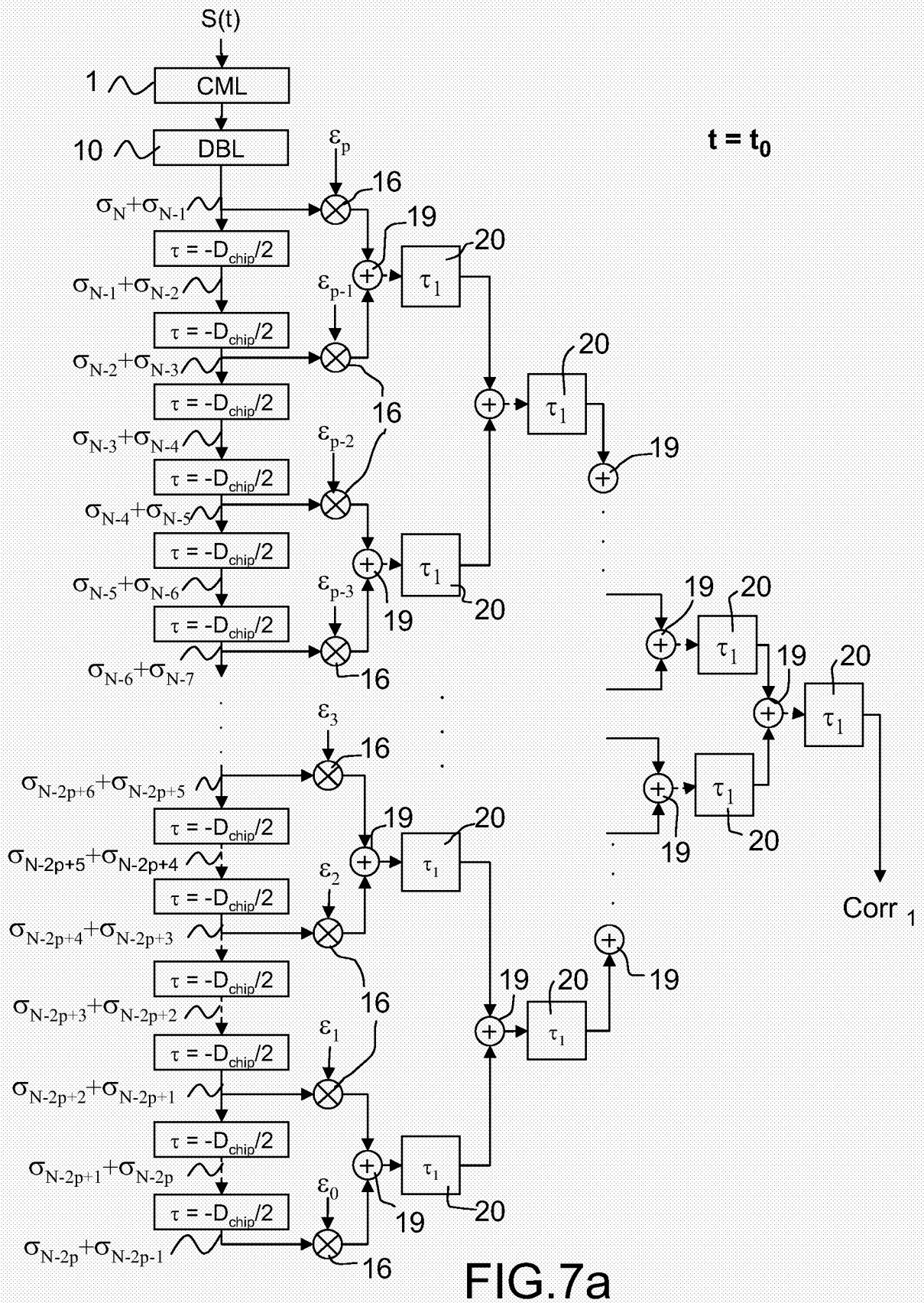


FIG.6b

10/11



11/11

