

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

N° 79 29471

(54) Etage prédicteur pour système de compression de débit numérique.

(51) Classification internationale (Int. Cl.³). H 03 K 13/01; H 04 B 12/02.

(22) Date de dépôt..... 30 novembre 1979.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 24 du 12-6-1981.

(71) Déposant : SOCIETE ANONYME DE TELECOMMUNICATIONS, SAT, résidant en France.

(72) Invention de : Denis Francis Cointot.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Bernardette Philippeau, service Propriété industrielle, Société anonyme de télé-
communications,
41, rue Cantagrel, 75624 Paris Cedex 13.

La présente invention concerne la transmission numérique d'informations codées en code MIC et plus particulièrement le traitement numérique permettant de réduire le débit numérique sur la ligne de transmission.

5 Les signaux susceptibles d'être traités par le système peuvent être des signaux téléphoniques tels que de parole, de données, de télégraphie harmonique, des signaux multifréquences etc... des signaux d'images, et d'une façon générale toutes les informations codées numériquement présentant une redon-
10 dance.

Des systèmes de réduction de débits numériques sont déjà connus. Ils permettent une compression du débit numérique en exploitant, pour la transmission d'un échantillon du signal la connaissance acquise lors de la transmission des échantil-
15 lons précédents. Ils consistent habituellement en un ensemble de trois étages montés en cascade, le premier étage appelé étage prédicteur permettant de remplacer le signal MIC d'entrée par un signal d_n représentant la différence entre le signal MIC d'entrée et la valeur prédite de cet échantillon
20 calculée à partir des échantillons précédents, un second étage dit de compression automatique de gain dans lequel l'amplitude du signal différent d_n issu du premier étage est divisée par un estimateur de la puissance moyenne. Un troisième étage appelé quantificateur effectue le codage des échantil-
25 lons issus du 2ème étage et fournit en sortie un signal numérique à redondance réduite formé de mots de longueur fixe ou encore de longueur variable. Un dispositif équivalent en réception permet de reconstituer le signal MIC.

Ainsi en se référant à la figure 1, l'étage prédicteur
30 de la partie émission des dispositifs connus de réduction numérique se compose habituellement d'un circuit additionneur-soustracteur 1 qui reçoit les échantillons x_n du signal MIC S d'entrée et fournit en sortie un signal d_n représentant la différence entre la valeur de l'échantillon x_n entrant et
35 l'échantillon x_{pn} prédit. Cet échantillon x_{pn} prédit est fourni par un prédicteur 2 à partir d'un échantillon x_n fourni par un circuit d'addition 3. Le prédicteur 2 est habituellement un prédicteur fixe, ou bien un prédicteur adaptatif comme dans le cas de la demande de brevet antérieure 79 20 445 de la
40 demanderesse.

Le circuit d'addition 3 reçoit le x_{pn} prédit par le pré-
 dicteur 2 et l'additionne à l'échantillon d_n estimé fourni par
 un quantificateur inverse 4. L'échantillon différence d_n four-
 ni par le circuit d'addition 1 est appliqué à l'entrée d'un
 5 quantificateur 5 qui fournit en sortie des échantillons y_n à
 débit réduit.

En réception, le signal y_n est reçu par le quantificateur
 5' qui fournit un signal d_n différence à l'entrée d'un étage
 prédicteur. Cet étage prédicteur se compose essentiellement
 10 d'un circuit d'addition qui additionne le signal d_n , différence
 issu du quantificateur inverse 5', avec l'échantillon x_{pn} four-
 ni par le prédicteur 2.

Un signal x_n reconstitué est disponible à la sortie du
 circuit d'addition 1'. Ce signal x_n est, d'une part, appliqué à
 15 l'entrée du prédicteur 2', d'autre part, disponible à la sortie
 du dispositif de réduction de débit.

La figure 2a représente schématiquement l'étage prédic-
 teur ainsi décrit de l'art antérieur quand on néglige le bruit
 apporté par le quantificateur. L'étage prédicteur se présente
 20 habituellement sous la forme d'un filtre transversal à l'émis-
 sion réalisant une prédiction à partir du signal x_n entrant et
 fournissant des échantillons x_{pn} prédits à partir des échantil-
 lons précédents ; à cet effet un prédicteur 11 fournit des coef-
 ficients a_i , fixes ou optimisés selon les systèmes, tels que
 25 $d_n = x_n - \sum_{i=1}^N a_i x_{n-i}$, où N est le nombre de coefficients du
 prédicteur.

Lorsque les coefficients sont réactualisés par un algorith-
 me quelconque, par exemple l'algorithme du gradient ou l'al-
 gorithme de Kalman, le dispositif de réduction de débit est,
 30 certes, mieux adapté aux statistiques différentes des signaux,
 mais, est instable en réception en présence d'erreurs de trans-
 mission.

En effet l'étage prédicteur réception des systèmes connus
 tel que représenté sur la figure 2b recalcule le signal x_n à
 35 partir du signal erroné, d_n par exemple, reçu. Les coefficients
 réactualisés utilisés par le prédicteur 2' sont alors erronés
 et le nouvel échantillon x_{n+1} est lui aussi erroné. L'erreur
 se propage dans le système, l'algorithme réactualisant les coef-
 ficients en réception diverge de celui du dispositif émission
 40 (fig. 2a) et peut entraîner des instabilités. Un tel phénomène

s'explique mathématiquement en observant que la structure de l'étage prédicteur (fig. 2b) est réursive en réception et que la fonction de transfert du dispositif réception présente des pôles.

5 Une telle conception des étages prédicteurs à l'émission et à la réception impose l'emploi de protections complexes en cas d'utilisation du système sur canal bruité.

L'objet de l'invention est de réaliser un dispositif de traitement numérique stable même en présence d'erreurs de trans-
10 mission.

L'invention consiste à prévoir un système de traitement numérique comportant un étage prédicteur à structure réursive à l'émission et un étage prédicteur à structure transversale à la réception. Le prédicteur réception ayant alors une mémoire
15 finie, le traînage de l'erreur est limité et n'affecte pas la convergence du système.

Le système de l'invention comporte des premiers moyens pour former un échantillon x_{pn} prédit et des seconds moyens pour soustraire ledit échantillon x_{pn} prédit dudit échantillon x entrant, d'en déduire un échantillon d_n différence représentant l'erreur de prédiction, lesdits premiers moyens présentant à l'émission une structure réursive à l'émission en ce sens que chaque échantillon x_{pn} prédit est obtenu à partir des échantillons $d_n, d_{n-1}, d_{n-2} \dots$ etc... précédemment obtenus à
20 la sortie desdits seconds moyens et lesdits premiers moyens présentant à la réception une structure transversale, chaque échantillon x_{pn} étant obtenu à partir des échantillons différence d_n, d_{n-1} précédemment reçus.

L'invention s'applique à tous les systèmes à prédiction
30 linéaire par exemple à prédiction adaptative ou bien à prédiction fixe.

D'autres avantages et caractéristiques apparaitront à la lecture de la description suivante illustrée par des dessins.

La figure 1 est une représentation schématique des dispositifs de réduction de débit numérique de l'art antérieur.
35

Les figures 2a et 2b représentent schématiquement la structure des étages, l'influence du quantificateur.

La figure 3 est une représentation schématique du dispositif de traitement numérique selon l'invention, en négligeant
40 l'influence du quantificateur.

4

La figure 4 est une représentation détaillée de l'étage prédicteur émission de la figure 3, incluant le quantificateur dans la boucle de contre réaction.

La figure 5 est une variante de réalisation de la partie 5 émission de la figure 3.

La figure 6 est un schéma détaillé d'un étage prédicteur de la partie émission, variante de réalisation de la figure 3a.

La figure 7 est une variante de réalisation de la figure 6.

10 La figure 8 est une représentation détaillée du dispositif réception des figures 6 et 7.

Les étages prédicteurs émission et réception selon l'invention sont représentés schématiquement sur les figures 3a et 3b respectivement. En se référant à la figure 3a, le signal S entrant est un signal échantillonné et codé en code numérique. De chaque échantillon x_n entrant on retranche un échantillon x_{pn} prédit fourni par un prédicteur 11 au moyen d'un circuit de soustraction 10 qui fournit des échantillons d_n différence en sortie représentatifs de la différence entre la valeur de 15 l'échantillon entrant x_n et de l'échantillon prédit x_{pn} fourni par le prédicteur 11. Le prédicteur 11 reçoit selon l'invention à son entrée le signal différence d_n émis en ligne et fournit le signal x_{pn} au circuit 10 de soustraction. Les signaux d_n différence sont ainsi formés à partir des échantillons d_{n-1} 25 précédents selon la forme récurrente du type:

$$d_n = x_n - \sum_{i=1}^N a_i d_{n-i}$$

où a_i sont les N coefficients fournis par le prédicteur 11.

30 Le prédicteur 11 peut être du type à coefficients (a_i) fixes ou bien encore du type à coefficients (a_i) $i=1, N$ optimisés. Dans ce dernier cas les coefficients sont réactualisés par exemple à chaque période d'échantillonnage selon l'algorithme du gradient ou encore selon l'algorithme de Kalman ou en- 35 core par tout algorithme bien connu de la technique.

Un tel étage prédicteur présente une structure récursive à l'émission. La fonction de transfert du dispositif émission est du type :

$$G_e(z) = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^N a_i z^{-i}}$$

où les $(a_i)_{i=1,N}$ sont les coefficients du prédicteur 11.

La figure 3b représente l'étage prédicteur du dispositif réception. Il consiste essentiellement en un prédicteur 11', identique à celui du dispositif émission, fournissant à partir du signal d_n différence reçu, un signal prédit x_{pn} , qui est additionné au signal d_n au moyen d'un circuit d'addition 10', pour former le signal \hat{x}_n reconstitué. Un tel étage prédicteur est en réception à structure transversale. Il effectue à la réception la prédiction à partir du signal différence d_n .
 10 Mais la fonction de transfert est du type $G_r(z) = 1 + \sum_{i=1}^N a_i z^{-i}$ en réception et ne présente pas de pôle. Donc quelles que soient les valeurs des coefficients a_i du prédicteur 11' réception, ce dispositif de réduction de débit numérique de l'invention sera stable car il disposera en réception d'un étage
 15 prédicteur à structure transversale. Donc même en présence d'erreurs de transmission le dispositif de l'invention sera stable.

La figure 4 est une représentation plus complète des dispositifs émission et réception de traitement numériques des
 20 signaux codés selon l'invention. Le signal S entrant MIC reçu par le circuit d'addition 10 est transformé en un signal différence d_n par soustraction du signal x_{pn} prédit par le prédicteur 11. Le signal différence d_n issu du circuit d'addition d_n est transformé en un signal y_n à faible débit au moyen d'un
 25 quantificateur 12 bien connu de la technique. Un tel quantificateur a déjà été décrit dans la demande de brevet 79 20 445 de la demanderesse. Il consiste essentiellement à transformer les échantillons d_n à grand débit en une suite d'échantillons y_n à faible débit en fonction de la distribution de probabilité
 30 té conditionnelle du signal d_n à quantifier.

Le choix de la courbe de quantification adoptée, selon que le signal à traiter est un signal de données ou un signal de parole, peut, de la même façon que dans la demande précitée, être déterminé par la connaissance du vecteur des coefficients
 35 $(a_j)_{1 \leq j \leq N}$ du prédicteur 11.

Un quantificateur inverse 13 disposé sur une boucle à contre-réaction reçoit à son entrée le signal y_n émis en ligne et fournit un signal \hat{d}_n identique à celui qui serait reçu en réception en l'absence d'erreurs de transmission. Cette grandeur \hat{d}_n
 40 est appliquée à l'entrée du prédicteur 11.

En réception le signal y_n^6 à faible débit est reçu par le quantificateur inverse 13' qui fournit en sortie un signal d_n différence. Ce signal d_n différence est appliqué, d'une part, à l'entrée du prédicteur 11', d'autre part, à l'entrée du circuit 5 d'addition 10'.

Ce circuit d'addition 10' additionne le signal d_n issu du quantificateur inverse 13' au signal x_{pn} prédit fourni par le prédicteur 11', et fournit en sortie un signal x_n reconstitué de débit égal à celui du signal S d'entrée.

10 Les prédicteurs 11 et 11' des dispositifs émission et réception peuvent, par exemple, être des prédicteurs adaptatifs appliquant l'algorithme du gradient. On a alors une relation récurrente reliant les N coefficients $A(n)$, permettant de les réactualiser.

15

$$A(n+1) = A(n) + K(n)$$

où $A(n) = [a_1(n) \text{ --- } a_N(n)]$ est le vecteur des coefficients, et où $K(n)$ représente le vecteur de correction à l'instant n, 20 $K(n)$ peut être calculé par tout algorithme utilisé dans les techniques de prédiction, par exemple l'algorithme du gradient, l'algorithme de Kalman ou autres.

Toutefois, afin d'éviter toute instabilité en émission et d'assurer une convergence des dispositifs émission et réception, 25 en particulier des étages prédicteurs émission et réception, on ajoute un terme $(1-\beta)$ de fuite à l'algorithme de réactualisation des coefficients, β étant une constante de l'ordre de 10^{-3} . La relation de réactualisation des coefficients s'écrit alors :

30

$$A(n+1) = (1-\beta) [A(n) + K(n)]$$

La figure 5 représente une variante de réalisation de l'invention permettant d'améliorer la prédiction pour les signaux de parole. On dispose un filtre 14, à l'entrée de l'étage pré- 35 dicteur émission qui effectue un préfiltrage favorisant la prédiction du système selon l'invention.

Ce filtre 14 reçoit le signal S entrant formé des échantillons x_n et introduit un retard T d'une période d'échantillonnage, retard équivalent à celui d'un prédicteur classique 40 fixe du premier ordre optimisé pour la parole. Le signal x_{pn}

fourni par le filtre 14 est soustrait du signal x_n au moyen du circuit de soustraction 15. Le signal S' fourni à la sortie de ce circuit de soustraction 15 est un signal de même débit que S mais présentant une minimisation en énergie pour les fréquences basses de parole.

Ce signal S' est ensuite traité de la même façon que dans les dispositifs de l'invention décrits à l'aide des figures 3a et 4. En effet un prédicteur 11 du type connu en soi, par exemple adaptatif fonctionnant selon l'algorithme du gradient ainsi que décrit dans la demande de brevet 79 20 445 de la demanderesse, fournit une prédiction à partir des signaux d_n différence fournis par les échantillons précédents à la sortie du circuit d'addition 10.

Le prédicteur 11 fournit à sa sortie un signal prédit x_{p2n} qui est additionné à l'échantillon x'_n contenu dans le signal S' .

Les échantillons d_n différence fournis à la sortie de l'étage prédicteur émission de la figure 5 permettent de conserver des performances peu altérées pour les signaux de données et d'obtenir pour les signaux de parole un gain comparable à celui obtenu à la sortie d'un prédicteur adaptatif à même nombre de coefficients.

Une représentation détaillée du dispositif de traitement numérique émission selon l'invention et en particulier de son étage prédicteur est illustrée sur la figure 6. Le circuit de soustraction 10 fournit, à partir des échantillons x_n entrants et des échantillons x_{pn} prédits, des échantillons d_n différence représentatifs de la différence entre la valeur de l'échantillon x_n entrant et de l'échantillon x_{pn} prédit. Cet échantillon d_n sortant est transformé en un signal y_n à faible débit au moyen d'un quantificateur 12 bien connu de la technique. Un quantificateur inverse 13 disposé sur une boucle à contre réaction reçoit à son entrée le signal y_n émis en ligne et fournit en sortie un signal d_n identique à celui qui serait reçu en réception en l'absence d'erreurs de transmission. Ce signal d_n est appliqué, d'une part, à l'entrée du prédicteur 11, d'autre part, à l'entrée du dispositif 16 de calcul permettant de réactualiser les coefficients (a_i) $1 \leq i \leq 4$ du prédicteur 11. Ce dispositif 16 est bien connu de l'état de la technique, il applique l'algorithme du gradient ou encore l'algorithme de Kalman ou encore tout

algorithme connu en soi. Ce dispositif 16 fournit les 4 coefficients a_1, a_2, a_3, a_4 dans l'exemple de réalisation de la figure 6 au prédicteur 11 à l'entrée des quatre circuits de multiplication 110, 111, 112, 113 chacun de ces circuits de multiplication 110, 111, 112, 113 reçoit le signal d_n fourni par le quantificateur inverse 13 respectivement retardé d'un temps $T, 2T, 3T$ et $4T$ au moyen de quatre registres décalage 114, 115, 116, 117 respectivement. Les deux signaux obtenus en sortie des circuits de multiplication 110, 111, sont appliqués à l'entrée d'un circuit d'addition 118. Le résultat obtenu à la sortie de ce circuit d'addition 118 est additionné avec le résultat du circuit 112 de multiplication au moyen du circuit d'addition 119. Le résultat obtenu à la sortie du circuit 119 d'addition est appliqué à l'entrée du circuit 120 d'addition au moyen duquel il est additionné avec le résultat obtenu à la sortie du circuit de multiplication 113. Le résultat obtenu à la sortie du circuit d'addition 120 est un signal x_{p2n} prédit. Cette prédiction est améliorée selon l'invention en insérant un filtre transversal 14 constitué d'un registre à décalage 140 suivi d'un circuit 141 de multiplication. A cet effet un circuit d'addition 17 additionne l'échantillon x_{pn} prédit, fourni à l'entrée du circuit d'addition 10, à l'échantillon d_n obtenu à la sortie du quantificateur inverse 13 pour former l'échantillon x_n reconstitué. C'est cet échantillon x_n qui est successivement retardé d'un temps T au moyen du registre à décalage 140 puis multiplié par un coefficient fixe b_0 au moyen d'un circuit de multiplication 141. L'échantillon x_{p1n} fourni à la sortie du filtre transversal 14 est additionné avec l'échantillon x_{p2n} prédit fourni par le prédicteur 11 au moyen du circuit d'addition 15. A la sortie du circuit d'addition 15 on obtient un échantillon x_{pn} prédit qui est utilisé à l'entrée du circuit d'addition 10.

Les échantillons d_n fournis à la sortie du circuit d'addition 10 sont transformés en un signal à faible débit d'échantillons y_n au moyen du quantificateur 12.

Dans ce cas de figure, si les niveaux de quantification sont suffisamment fins (le nombre de bits des mots du signal y_n est supérieur ou égal à 3 bits), et si le quantificateur n'écrite pas le signal le bruit de quantification induit est blanc.

En se référant à la figure 7, un autre mode d'insertion du

filtre transversal 14 est prévu selon l'invention. L'opération
 de préfiltrage est effectuée directement à l'entrée de l'étage
 prédicteur émission, à partir des échantillons x_n entrants. Le
 filtre 14 fournit des échantillons, en sortie, qui sont addi-
 5 tionnés avec les échantillons prédits, issus du prédicteur 11,
 au moyen d'un circuit d'addition 15. L'échantillon issu du cir-
 cuit 15 est appliqué à l'entrée du circuit de soustraction 10
 pour y être retranché de l'échantillon x_n entrant. L'échantil-
 lon d_n issu du circuit de soustraction 10 est appliqué à l'en-
 10 trée du quantificateur 12. Sur la boucle de contre-réaction à
 partir des échantillons y_n , le quantificateur inverse 13 four-
 nit des échantillons d_n reconstitués à l'entrée du prédicteur
 11. Le prédicteur 11 associé à son dispositif de réactualisa-
 tion des coefficients non représenté fournit des échantillons
 15 prédits à chaque instant à l'entrée du circuit d'addition 15.
 Un tel mode d'insertion du filtre transversal 14, en dehors de
 la boucle de contre-réaction sur laquelle est insérée le quan-
 tificateur inverse procure un bruit plus coloré de fonction de
 transfert s'écrivant $\frac{1}{1-Bo(z)}$ (bruit blanc filtré par le prédic-
 20

teur fixe) ce qui peut être intéressant subjectivement dans le
 cas du traitement de parole.

La figure 8 représente schématiquement les dispositifs
 réception correspondants aux dispositifs émission des figures
 25 6 et 7. Le signal y_n entrant est appliqué à l'entrée du quanti-
 ficateur inverse 13' qui fournit en sortie des échantillons à
 l'entrée du circuit d'addition 10' et à l'entrée du prédicteur
 11'. Ce prédicteur 11' associé à son dispositif de réactuali-
 sation des coefficients, non représenté sur la figure, four-
 30 nit à l'entrée du circuit d'addition 15' des échantillons pré-
 dits, qui sont additionnés avec les échantillons fournis par
 le filtre transversal 14'. L'opération de préfiltrage effectuée
 par ce filtre 14' est effectuée à partir de l'échantillon x_n
 reconstitué fourni à la sortie du circuit d'addition 10'. Le
 35 circuit d'addition 15' fourni en sortie des échantillons qui
 sont additionnés avec ceux issus du quantificateur inverse 13'
 au moyen du circuit d'addition 10'.

10
REVENDECATIONS

- 1 - Etage prédicteur pour système de traitement numérique pour signaux résultant du codage en code MIC d'un signal de données, de parole, ou encore de signalisation multifréquence se présentant sous la forme d'une suite d'échantillons x_n , comprenant des premiers moyens pour former un échantillon x_{pn} prédit et des seconds moyens pour soustraire ledit échantillon x_{pn} prédit dudit échantillon x_n entrant, d'en déduire un échantillon d_n différence représentant l'erreur de prédiction,
 - 10 dispositif caractérisé par le fait que lesdits premiers moyens présentent à l'émission une structure récursive en ce sens que chaque échantillon x_{pn} prédit est obtenu à partir des échantillons $d_n, d_{n-1}, d_{n-2} \dots$ etc... précédemment obtenus à la sortie desdits seconds moyens et par le fait que lesdits premiers moyens présentent à la réception une structure transversale, chaque échantillon x_{pn} étant obtenu à partir des échantillons différence $d_n, d_{n-1} \dots$, précédemment reçus.
- 2 - Etage prédicteur pour système de traitement numérique selon la revendication 1 caractérisé par le fait que lesdits premiers moyens se composent essentiellement d'un prédicteur fixe connu en soi, optimisé pour les signaux S entrants.
- 3 - Etage prédicteur pour système de traitement numérique selon la revendication 1 caractérisé par le fait que lesdits premiers moyens se composent essentiellement d'un prédicteur adaptatif à coefficients réactualisés, à chaque période d'échantillonnage par exemple selon tout algorithme de calcul connu en soi.
- 4 - Etage prédicteur pour système de traitement numérique selon l'une des revendications 1, 2 ou 3 caractérisé par le fait que les échantillons d_n, d_{n-1}, d_{n-2} , obtenus à l'émission sont transformés en un signal à faible débit au moyen d'un quantificateur connu en soi.
- 5 - Etage prédicteur pour système de traitement numérique selon l'une des revendications 1, 2, 3 ou 4 caractérisé par le fait qu'à l'émission les échantillons x_n , avant d'être appliqués à l'entrée desdits seconds moyens, sont additionnés avec les échantillons x_n préalablement traités par un filtre transversal effectuant un préfiltrage, et en ce qu'à la réception les échantillons \hat{x}_n reconstitués sont additionnés avec les échantillons \hat{x}_n préalablement traités par le même filtre trans-

versal.

6 - Etage prédicteur pour système de traitement numérique selon l'une des revendications 1, 2, 3 ou 4 caractérisé par le fait qu'on dispose à l'émission sur la boucle de contre-réac-
5 tion, comportant lesdits premiers moyens pour former un échantillon x_{pn} prédit, un filtre transversal effectuant un pré-filtrage à partir des échantillons \hat{x}_n reconstitués et en ce qu'à la réception les échantillons \hat{x}_n reconstitués sont additionnés avec les échantillons \hat{x}_n préalablement traités par le
10 même filtre transversal.

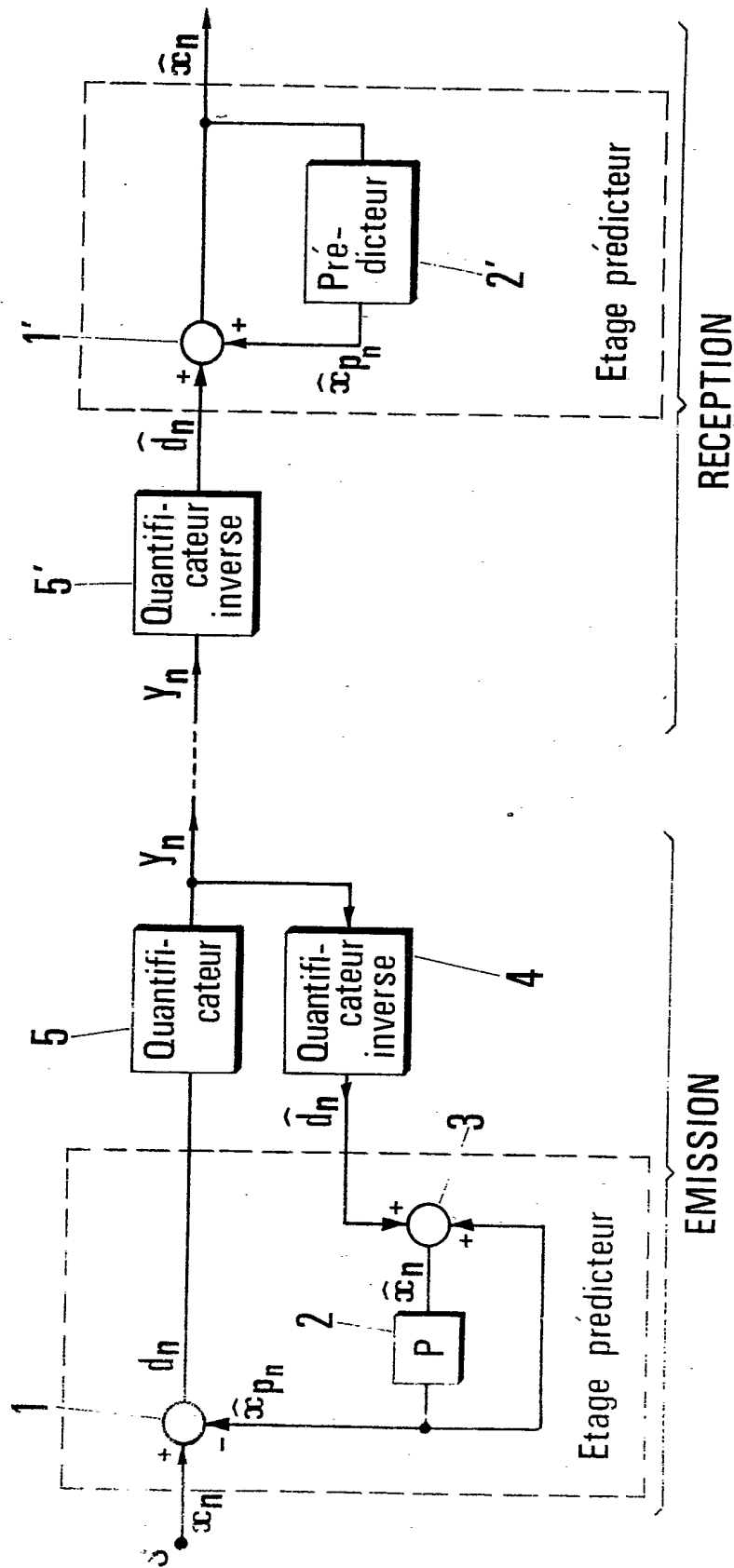


FIG. 1

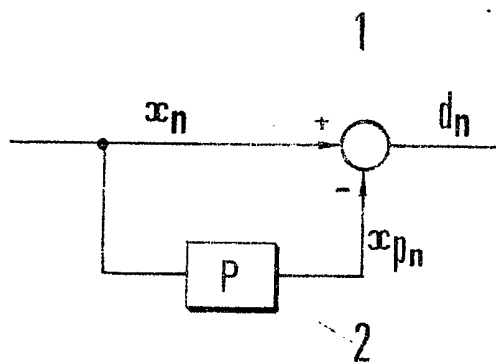


FIG. 2 a

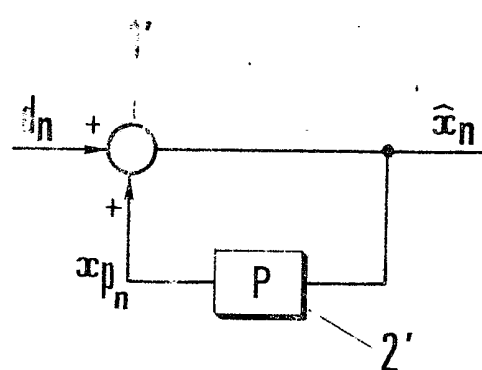


FIG. 2 b

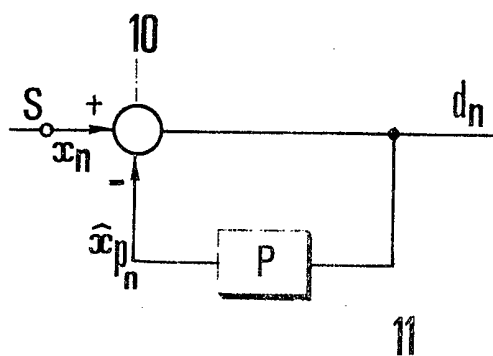


FIG. 3 a

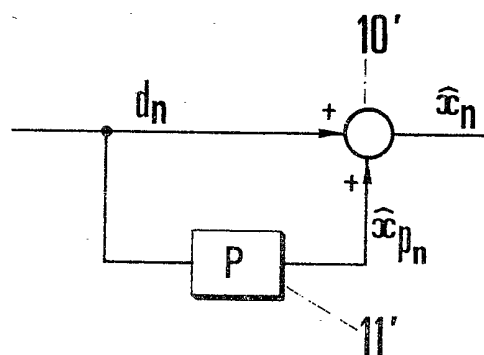


FIG. 3 b

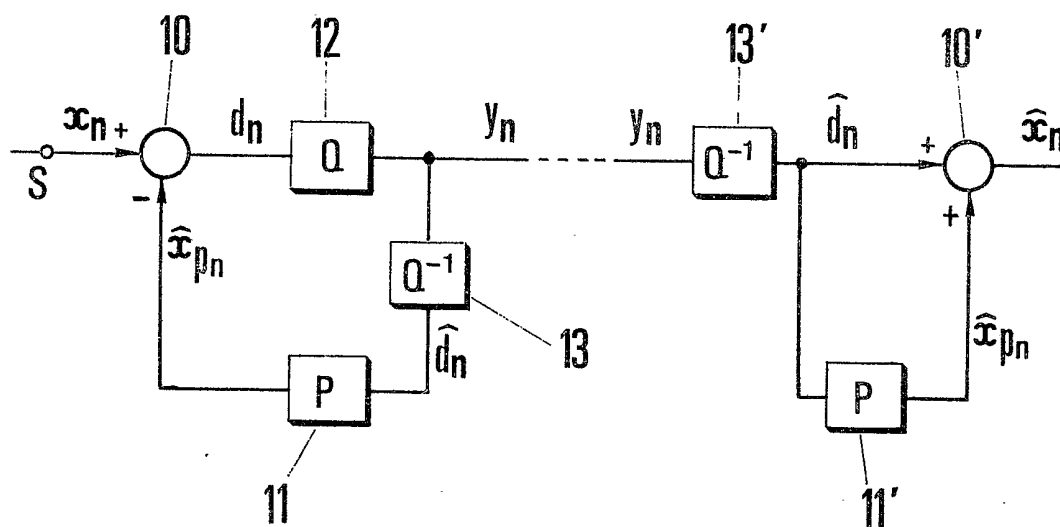


FIG. 4

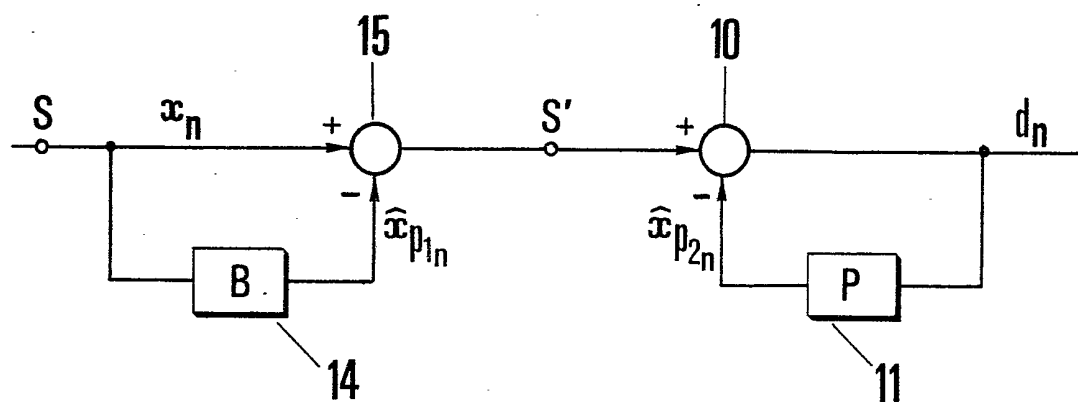


FIG. 5

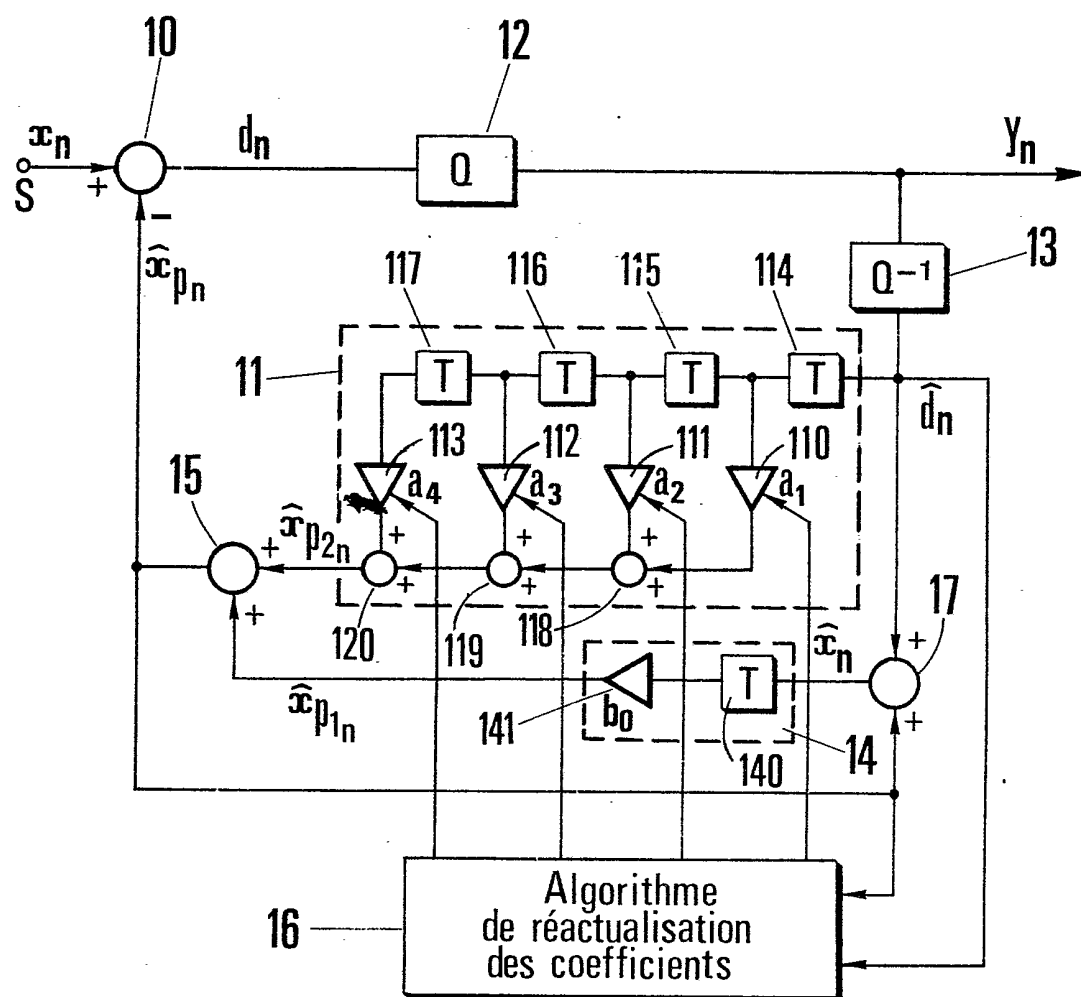


FIG. 6

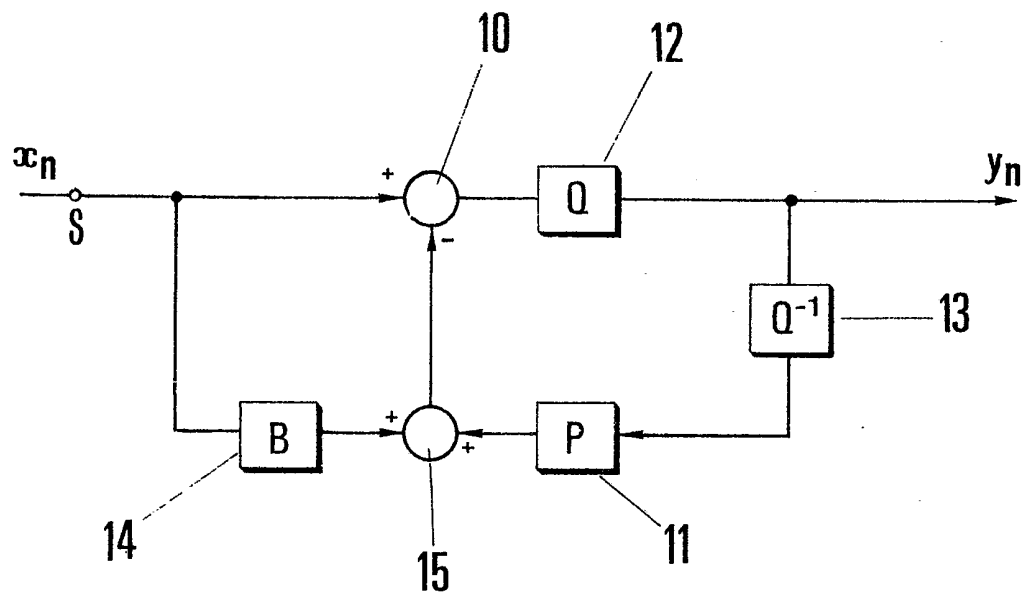


FIG. 7

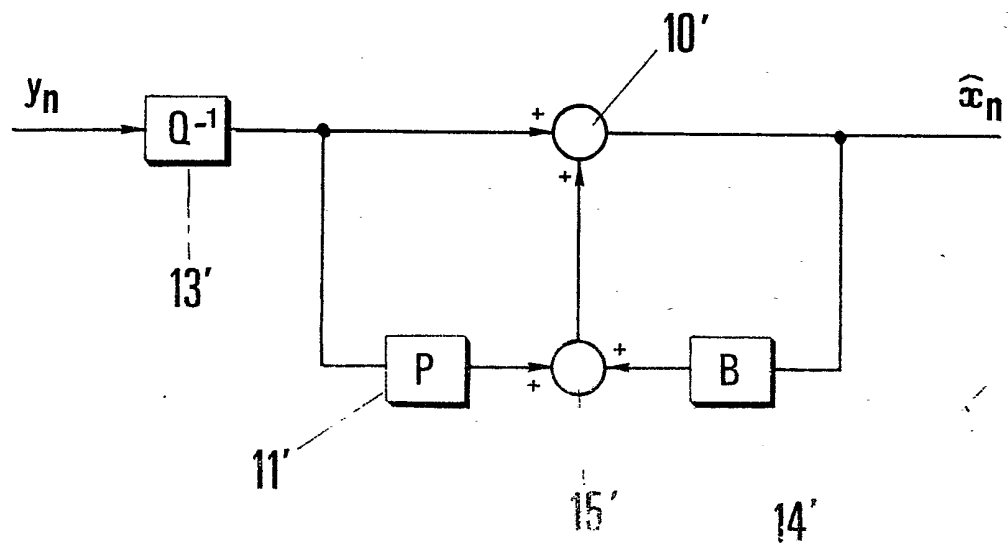


FIG 8