

(19) REPUBLIQUE FRANCAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIETE INDUSTRIELLE
PARIS

(11) Numéro de publication
européen 1038392

(12) TRADUCTION DU BREVET EUROPEEN B

(21) Numéro de dépôt de la demande
de brevet européen: 98959030.2

(51) Int Cl: H04N 5/44

(22) date de dépôt de la demande
de brevet européen: 10/12/98

(54) Titre: TRAITEMENT DE SIGNAL VIDEO

(30) Priorités: 10/12/97 GB 9726158

(73) Titulaire:

SNELL WILCOX LIMITED

(45) Délivrance publiée au Bulletin européen
des brevets:

n° 03/17 du 23/04/03

Remise de la traduction publiée au Bulletin
officiel de la propriété industrielle:

n° 01 du 02/01/04

Remise de la traduction révisée au BOPI: n° du

OPPOSITION : maintien du brevet modifié publié au Bulletin
européen des brevets: n° du

OPPOSITION : remise de la traduction publiée au BOPI: n° du

OPPOSITION : remise de la traduction révisée publiée
au BOPI: n° du

Cette invention concerne un traitement de signal vidéo et spécialement des traitements d'interpolation, particulièrement une interpolation spatiale, qu'elle soit horizontale, verticale ou bidimensionnelle.

- 5 L'invention s'applique à un exemple important pour le traitement de désentrelacement par lequel une image vidéo est dérivée de chaque trame d'un signal vidéo entrelacé.

Un nombre de techniques de traitement de signal vidéo connues emploient des sommes pondérées de pixels. Par exemple, le document JP-A-0 298 613 divulgue un procédé de décodage en couleur NTSC dans lequel des pixels sont multipliés par des coefficients, et puis ajoutés.

- 15 Des techniques de désentrelacement connues dérivent les lignes "manquantes" via une somme pondérée de points d'échantillon voisins, par exemple, comme dans le document WO-A-97 01929. L'emplacement des points d'échantillon à employer et les valeurs des coefficients de pondération sont classiquement choisis pour minimiser des artefacts visuels et certains principes de conception ont été établis. Des techniques adaptatives ont émergé par lesquelles les caractéristiques du filtre de désentrelacement sont
- 20
- 25 changées au regard, par exemple, du déplacement.

Un but des aspects de la présente invention est de fournir un traitement de signal vidéo amélioré par lequel l'apparence des artefacts visuels sur une interpolation spatiale est davantage minimisée.

5 Un autre but d'un aspect de la présente invention est de fournir un traitement de signal vidéo amélioré par lequel une image vidéo est dérivée pour chaque trame d'un signal vidéo entrelacé.

Par conséquent, la présente invention consiste
10 selon un aspect en un traitement vidéo dans lequel une somme pondérée de pixels à partir d'au moins une image d'entrée est prise dans une ouverture de filtre pour générer un pixel dans une image de sortie, caractérisé en ce que la somme pondérée comprend des produits de
15 triplets de pixels, lesdits produits de triplets de pixels comprenant le produit multiplicatif de trois pixels multipliés les uns par les autres.

Convenablement, une image vidéo est dérivée par l'intermédiaire d'une interpolation spatiale à partir
20 de chaque trame vidéo d'un signal d'entrée entrelacé.

Dans une forme de l'invention, la somme pondérée comprend des pixels et des produits de triplets de pixels.

Dans un autre aspect, la présente invention se
25 compose d'un appareil de traitement de signal vidéo pour une interpolation, comprenant un filtre d'interpolation prenant une somme pondérée de pixels à partir d'au moins une image d'entrée dans une ouverture de filtre, pour générer un pixel dans une image de
30 sortie, caractérisé en ce que la somme pondérée comprend des produits de triplets de pixels.

L'invention est définie par les revendications.

Cette invention sera maintenant décrite à titre d'exemple en référence aux dessins d'accompagnement, dans lesquels :

5 la figure 1 est un schéma d'un circuit de désentrelacement selon la présente invention ;

 la figure 2 est une représentation schématique d'un filtre de troisième ordre à quatre prises utile selon la présente invention ;

10 la figure 3 est un schéma illustrant un traitement pour concevoir un filtre selon la présente invention ;

 la figure 4 est une série de schémas illustrant des ouvertures de filtre destinées à être utilisées dans la présente invention ;

15 la figure 5 est un schéma d'un circuit d'interpolation selon un mode de réalisation de la présente invention ; et

 la figure 6 est un schéma d'un circuit d'interpolation selon un autre mode de réalisation de
20 la présente invention.

Dans un mode de réalisation de cette invention, le but est d'interpoler une trame d'une image vidéo à partir d'une autre. Ceci est connu comme un désentrelacement.

25 On montre sur la figure 1, un circuit de désentrelacement dans lequel un signal vidéo entrelacé sur une borne d'entrée 10 est actionné pour former un signal progressif sur une borne de sortie 12. Un filtre 14 reçoit une trame d'une image vidéo et à partir de
30 celle-ci interpole l'autre trame de l'image. Un multiplexeur 16 reçoit ces "nouvelles" trames, ainsi

que les trames d'origine (retardées de façon appropriée en 18). La sortie du multiplexeur est un signal vidéo à balayage progressif.

Dans un circuit de désentrelacement traditionnel,
5 le filtre 14 est linéaire, chaque prise de filtre
(dérivée par des éléments à retard appropriés à partir de l'entrée vidéo) est multipliée par une pondération de filtre et les produits résultants sont ajoutés pour donner la sortie de filtre. En contraste, la présente
10 invention propose un filtre non-linéaire polynomial. Ceci comprend, en plus des termes linéaires, la somme de coefficients de filtre multipliée par des produits de valeurs de pixel, des triplets de valeurs de pixel, etc. Par exemple, un filtre à quatre prises destiné à
15 être utilisé dans la présente invention contiendra quatre coefficients de filtre qui sont multipliés par des valeurs de pixel unique, dix coefficients de filtre qui sont multipliés par des produits de valeurs de pixel, vingt coefficients de filtre qui sont multipliés
20 par des triplets de valeurs de pixel, etc.

Dans un mode de réalisation pratique quelconque, la série polynomiale doit être tronquée en certain point. Un filtre tronqué du troisième ordre est pratique et on montre schématiquement sur la figure 2,
25 un filtre de troisième ordre à quatre prises destiné à être utilisé comme filtre 14 de la figure 1. Le filtre polynomial est illustré graphiquement comme la combinaison d'un filtre linéaire 100, un filtre quadratique 102 et un filtre cubique 103. Le filtre
30 linéaire utilise trois éléments à retard 104 pour générer quatre prises à partir du signal d'entrée.

Chaque prise est multipliée par un coefficient dans un multiplieur respectif 105 et une somme pondérée générée dans un dispositif d'addition 106. Dans le filtre quadratique 102, des éléments à retard similaires 114
 5 fournissent quatre prises à partir du signal vidéo d'entrée et dix multiplieurs 115 génèrent tous les dix produits possibles, de nouveau pondérés par des coefficients respectifs. Une somme est formée dans un dispositif d'addition 116. Le filtre cubique a vingt
 10 multiplieurs 125 fonctionnant sur les prises à partir d'éléments à retard 124 pour générer toutes les combinaisons possibles de triplets de prises et une somme pondérée est formée dans un dispositif d'addition 126. Bien que les éléments à retard 104, 114 et 124
 15 aient été montrés séparément dans les trois filtres, un ensemble d'éléments à retard suffirait habituellement.

On comprendra que dans un circuit pratique quelconque, il y a de très nombreuses manières de réaliser le filtre décrit. Classiquement, un élément de
 20 traitement unique reçoit les quatre prises et avec des multiplieurs appropriés, des mémoires de coefficient et un ou plusieurs dispositifs d'addition, fournit directement la somme des filtres linéaires, quadratique et cubique.

25 Pour comprendre la technique de construction d'un filtre selon la présente invention, il est utile de regarder sur la figure 3. Le but est de concevoir un filtre de réponse impulsionnelle finie numérique de N points, h , pour modifier l'entrée, $x(n)$, de manière à
 30 minimiser l'erreur quadratique moyenne, $e(n)$, entre la sortie de filtre et le signal voulu, $y(n)$. Dans le cas

d'un désentrelacement, $x(n)$ est une trame f1, et $y(n)$ est une trame f2. Le but est de créer un filtre $h(n)$ qui lorsqu'il est mis en oeuvre sur f1, donne la meilleure estimation possible de f2 pour que l'erreur quadratique moyenne entre l'estimation de f2 et f2 réel soit minimisée. Sur la figure 3, une entrée progressive est appliquée à un bloc 30 qui sépare les trames d'une image vidéo et fournit la trame f1 et la trame f2. La trame f1, c'est à dire $x(n)$ est fournie au filtre 32 pour générer une estimation de f2. Elle est alors comparée dans un bloc 34 à f2 réel, c'est à dire $y(n)$.

La réponse impulsionnelle de filtre qui minimise la somme des erreurs quadratiques de données de longueur L , est donnée par la solution du système d'équations sur-déterminé (en supposant $L > N$)

$$Xh = y \text{ où } X = \begin{bmatrix} x(L) & x(L-1) & \cdots & x(L-N+1) \\ x(L-1) & x(L-2) & \cdots & x(L-N) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ x(2) & x(1) & \cdots & 0 \\ x(1) & 0 & \cdots & 0 \end{bmatrix} \text{ et } y = \begin{bmatrix} y(L) \\ y(L-1) \\ \vdots \\ y(2) \\ y(1) \end{bmatrix}.$$

dont la solution des moindres carrés est,

$$h = (X^T X)^{-1} X^T y.$$

où $X^T X = R$ est connu comme la matrice d'auto-corrélation et $X^T y = p$ est connu comme le vecteur de corrélation croisée. On note que $X^T X$ et $X^T y$ sont habituellement plus petits que X . Donc, il est beaucoup plus efficace de calculer $X^T X$ et $X^T y$ directement à partir de $x(n)$ et $y(n)$ plutôt que de former X .

L'extension de ceci à un modèle non-linéaire plus général est en principe simplement un objet de

modification de la matrice de données. Ci-dessous nous montrons la matrice de données pour un filtre non-linéaire polynomial du second ordre, dans lequel un terme constant (DC) a été aussi compris. Une forme symétrique pour les composantes non-linéaires du filtre a été supposée pour que cette matrice ait une dimension

$$L \times \left(N = \frac{N(N + 1)}{2} \right).$$

$$X = \begin{bmatrix} 1 & x(L) & x(L-1) & \dots & x(L-N+1) & x(L)^2 & x(L)x(L-1) & \dots & x(L)x(L-N+1) & x(L-1)^2 & \dots & x(L-N+1)^2 \\ 1 & x(L-1) & x(L-2) & \dots & x(L-N) & x(L-1)^2 & x(L-1)x(L-2) & \dots & x(L-1)x(L-N) & x(L-2)^2 & \dots & x(L-N)^2 \\ 1 & x(L-2) & x(L-3) & \dots & x(L-N-1) & x(L-2)^2 & x(L-2)x(L-3) & \dots & x(L-2)x(L-N-1) & x(L-3)^2 & \dots & x(L-N-1)^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ 1 & x(3) & x(2) & \dots & 0 & x(3)^2 & x(3)x(2) & \dots & 0 & x(2)^2 & \dots & 0 \\ 1 & x(2) & x(1) & \dots & 0 & x(2)^2 & x(2)x(1) & \dots & 0 & x(1)^2 & \dots & 0 \\ 1 & x(1) & 0 & \dots & 0 & x(1)^2 & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}$$

Le filtre optimal, dans le sens des moindres carrés, peut alors être estimé en résolvant $h = R^{-1}p$. Le filtre comprendra trois composantes séparées ; le terme DC, les coefficients linéaires standards qui devraient être multipliés par des valeurs de pixel unique, et les coefficients quadratiques qui seront multipliés par un produit de valeurs de pixel.

La présente invention reconnaît que si l'erreur quadratique moyenne est choisie pour une optimisation du filtre, il est possible de calculer les coefficients de filtre h sans former un filtre d'essai et une itération. Le traitement d'apprentissage alors ne représente pas une amélioration itérative dans un filtre d'essai ou de prototype, mais la collection de données suffisantes à partir d'un matériau d'image réelle pour lequel x et y sont connus, pour permettre un calcul signifiant d'une matrice d'auto-corrélation et d'un vecteur de corrélation croisée.

Un modèle polynomial tronqué sur le troisième ordre est préféré selon cette invention. Celui-ci contiendra des filtres linéaire, quadratique et cubique et est aussi capable de modéliser des systèmes qui
 5 contiennent à la fois des éléments quadratiques et cubiques non-linéaires. Ceux-ci génèrent à la fois des distorsions inclinées et symétriques de la fonction de densité de probabilité. Des modèles d'ordre plus élevé peuvent être utilisés et sont montrés pour donner des
 10 résultats améliorés, mais la taille du filtre et le calcul requis dans son estimation augmentent exponentiellement et il y a des retours de diminution rapides. Par exemple, le filtre cubique non-linéaire de six pixels du cinquième ordre fonctionne mieux que le
 15 filtre de six pixels du troisième ordre mais il y a cinq fois plus de termes.

Pour le cas linéaire, on a trouvé que ni une augmentation du nombre de prises dans la direction verticale d'un filtre vertical à six points ni une
 20 utilisation de pixels dans la direction horizontale, réduisent significativement l'erreur quadratique moyenne. Cependant, pour un filtre selon la présente invention, le choix d'une ouverture a des résultats beaucoup plus spectaculaires. Par exemple, une
 25 ouverture bidimensionnelle donne une amélioration significative sur celle unidimensionnelle. Ceci est imaginé être du à la capacité du filtre non-linéaire de traiter des bords et des lignes en pente et d'utiliser des informations de gradient.

30 Cependant, comme on peut le voir dans le tableau 1, le nombre de coefficients de filtre augmente

exponentiellement avec le nombre de pixels. En raison de contraintes de calcul une taille maximum sensible est actuellement prise pour un filtre cubique de 20 pixels et pour un filtre du cinquième ordre de 6 pixels.

Nombre de pixels	Nombre de coefficients de filtre	
	filtre non-linéaire de troisième ordre	filtre non-linéaire de cinquième ordre
4	35	126
6	84	462
8	165	1 287
12	445	6 178
20	1 770	53 129

Tableau 1 : Nombre total de coefficients de filtre pour des filtres non-linéaires du troisième et du cinquième ordre contenant 4, 6, 8, 12 et 20 pixels.

Comme le nombre de pixels disponibles est limité, il est important de choisir la forme d'ouverture correcte. De meilleurs résultats semblent se produire à partir d'ouvertures qui contiennent quatre pixels verticaux et puis un nombre de pixels horizontaux. Les ouvertures utilisées pour les filtres de 4, 6, 8 et 20 pixels sont montrées sur la figure 4 (**X** indique les pixels utilisés dans la trame f1, pour estimer le pixel indiqué par **O** dans la trame f2). L'utilisation d'informations horizontales contribue à traiter les lignes presque horizontales et les bords qui souvent provoquent des problèmes en raison d'un découpage dans un désentrelacement.

Le tableau 2 montre l'erreur quadratique moyenne entre la trame estimée et la trame réelle pour une

image de référence particulière, et pour une série de différents filtres. On peut voir que dans tous les cas, les filtres non-linéaires fonctionnent mieux que les filtres linéaires standards.

Type de filtre	Erreur quadratique moyenne de l'estimation entre la trame et la trame réelle	Nombre de coefficients dans un filtre
filtre linéaire de 2 pixels (0,5/0,5)	23,15	2
filtre linéaire de 4 pixels (optimum)	18,61	4
filtre linéaire de 8 pixels (optimum)	18,58	8
filtre linéaire de 36 pixels (optimum)	18,55	36
filtre cubique de 4 pixels (optimum)	16,14	35
filtre cubique de 6 pixels (optimum)	15,67	84
filtre du cinquième ordre de 6 pixels (optimum)	14,88	462
filtre cubique de 8 pixels (optimum)	15,21	165
filtre cubique de 12 pixels (optimum)	14,69	445
filtre cubique de 20 pixels (optimum)	13,50	1 770

5

Tableau 2 : erreurs quadratiques moyennes pour divers filtres utilisés sur une image de référence EBU "fille".

On a trouvé que le filtre non-linéaire produit des bords et des courbes plus régulières que sa contrepartie linéaire, avec un découpage réduit.

5 Finalement, l'erreur quadratique moyenne est donnée pour une série d'images pour un filtre linéaire, et deux filtres non-linéaires, (Tableau 3). On voit que dans tous les cas les filtres non-linéaires fonctionnent aussi mieux que les filtres linéaires.

Image	Erreur pour un filtre linéaire de 4 pixels	Erreur pour un filtre cubique de 4 pixels	Erreur pour un filtre cubique de 12 pixels
Tableau	49	43	43
Bottes	73	67	66
Garçon	73	64	57
Clown	23	20	20
Fille	19	17	17
Poids	166	153	140
Arbre	313	303	303
Couple	91	87	86
Kiel	135	128	128
Latin	363	289	234

10 **Tableau 3 : erreur quadratique moyenne pour des images EBU standards.**

Des filtres polynomiaux non-linéaires selon la présente invention peuvent donner un résultat nettement amélioré sur des dispositifs de prédictions linéaires conventionnels lorsqu'ils sont utilisés pour un
15 désentrelacement spatial. Des filtres polynomiaux non-linéaires sont généralement plus complexes que leurs équivalents linéaires, bien que la seule utilisation d'informations spatiales réduise la complexité significative comparée à des filtres spatio-

temporels conventionnels. Le résultat amélioré semble se produire principalement le long de bords ; alors que des filtres linéaires produisent souvent un découpage sur des lignes et des courbes diagonales, les filtres
5 non-linéaires décrits ici réduisent considérablement ces artefacts.

Un filtre non-linéaire destiné à être utilisé dans la présente invention peut être amélioré directement comme un ensemble de multiplieurs et un additionneur
10 comme cela a été décrit jusqu'à présent ou la même caractéristique peut être obtenue en utilisant une table de conversion.

Un circuit de désentrelacement peut fonctionner de façon indépendante ou la fonction de désentrelacement
15 peut être incorporée dans un circuit fonctionnant sur un signal entrelacé à des fins de conversion de normes, de conversion vers le haut, de conversion vers le bas, de conversion de format d'image, d'effets vidéo numériques et cetera.

20 Ainsi, en revenant à la figure 5, on montre un circuit qui fonctionne sur un signal vidéo entrelacé reçu sur une borne d'entrée 500 pour fournir par l'intermédiaire d'une interpolation un signal vidéo de sortie sur une borne 502. Ceci peut être un signal
25 d'entrelacement ou progressif et peut avoir différents nombres de lignes par trame, différents nombres de trames par seconde et cetera, dépendant de la fonction spécifique du circuit. Un exemple serait une sortie entrelacée dans une norme de diffusion de télévision
30 différente à l'entrée.

Le signal d'entrée de la figure 5 est passé à un filtre polynomial 504 qui dans l'exemple prend la forme illustrée symboliquement sur la figure 2. La sortie de filtre 504 comprend les "nouvelles" trames, passe via un FIFO (premier entré, premier sorti) 506 à une chaîne de série d'éléments à retard 508. Les trames originales sont prélevées par l'intermédiaire d'un circuit à retard 514 jusqu'à un FIFO similaire 516 et des éléments à retard 518.

10 Une somme pondérée des prises de filtre générées par les éléments à retard 508 et 518 est prise au moyen de multiplieurs 520 et d'un dispositif d'addition 522. La sortie du dispositif d'addition 522 est envoyée par l'intermédiaire d'un FIFO 524, à la borne de sortie.

15 Les coefficients des multiplieurs sont déterminés par l'intermédiaire d'une unité de commande 526, qui sert aussi à commander les débits auxquels des données sont lues et extraites dans les FIFO 506, 516 et 524.

Le spécialiste reconnaîtra que par l'intermédiaire d'un choix approprié des éléments à retard et d'une commande des FIFO et des multiplieurs, une large variété de procédures d'interpolation peut être effectuée.

Dans une autre disposition, le traitement d'interpolation est "plié dans" le filtre polynomial. Ainsi comme cela est montré sur la figure 6, un circuit d'interpolation a le signal d'entrée vidéo entrelacé sur une borne 600 traversant un FIFO 602 jusqu'à un filtre polynomial 604. Ceci peut être de la même forme générale que sur la figure 2, mais avec chacun des multiplieurs recevant son coefficient de multiplication

dynamiquement à partir d'une unité de commande 606. La sortie du filtre 604 traverse un autre FIFO 608 via l'unité de commande 606 commandant les débits auxquels des données sont lues et extraites dans les FIFO 602 et
5 608.

Dans une autre modification, en sélectionnant au moins certains des éléments à retard du filtre pour qu'ils soient des retards de trame plutôt que des retards de pixel ou de ligne, on peut produire un
10 interpolateur temporel. On sait que l'exécution d'un désentrelacement peut encore être amélioré par matériel en employant une interpolation temporelle. Il est alors nécessaire de détecter un déplacement et d'adapter ou de commuter lors d'une détection de déplacement à
15 partir d'une interpolation temporelle. Cette adaptation de déplacement est préférablement effectuée avec des techniques antérieures, cette commutation ou adaptation produit des artefacts d'adaptation qui peuvent être visuellement perturbant. Il a été trouvé qu'une
20 utilisation d'un interpolateur spatial selon la présente invention, et préférablement selon aussi un interpolateur temporel utilisant un filtre polynomial similaire, la visibilité d'artefacts d'adaptation est considérablement réduite. On pense que le comportement
25 non-linéaire décrit d'un interpolateur selon la présente invention fournit une adaptation "fine", tant que la valeur d'un pixel dans un produit de deux pixels peut être considérée comme faisant varier le coefficient de multiplication appliqué à l'autre pixel.
30 Une adaptation au sens conventionnel à partir d'une interpolation spatiale à temporelle peut dans ce sens

être considérée comme une adaptation "grossière". En prenant des chiffres comme exemple, on peut considérer une adaptation "grossière" comme une commutation de +5 à -5, qui est un saut suffisamment grand pour produire des artefacts de commutation. On considère maintenant que les deux valeurs de +5 et -5 sont les deux soumises à une adaptation fine dans la plage de 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 dans le cas de la valeur +5, et -9, -8, -7, -6, -5, -4, -3, -2, -1, 0 dans le cas de la valeur -5. Maintenant, en face d'une tendance dictant une commutation de +5 à -5, on s'attend à ce qu'une adaptation fine se produise dans la valeur +5 vers 0, minimisant ainsi le saut de commutation. Si la valeur -5 a similairement subi une adaptation fine vers 0, le saut sera alors réduit.

Tout en étant un exemple important, un désentrelacement n'est pas la seule application pour l'appareil selon la présente invention. Il peut être considéré comme utile avec un signal vidéo d'entrée qui est sous-échantillonné, un désentrelacement n'étant alors qu'un exemple.

TRADUCTION DES LEGENDES DES FIGURES

FIGURE 1

- 10 entrée entrelacée
- 5 12 sortie progressive
- 18 circuit à retard
- 14 filtre
- 16 multiplexeur

10 FIGURE 2

- filtre linéaire
- filtre quadratique
- filtre cubique
- sortie d'un filtre non-linéaire :
- 15 $y_R = y_{lin_R} + y_{quad_R} + y_{cub_R} +$

FIGURE 3

- progressive
- 30 trames séparées
- 20 32 filtre h
- estimation
- 34 calcul de coefficient

FIGURE 4

- 25 ouverture de 4 pixels
- ouverture de 6 pixels
- ouverture de 8 pixels
- ouverture de 20 pixels

30 FIGURE 5

- 500 entrée entrelacée

504 filtre polynomial
526 commande

FIGURE 6

5 600 entrée entrelacée
604 filtre polynomial
606 commande

REVENDECATIONS

1. Traitement vidéo dans lequel une somme pondérée de pixels à partir d'au moins une image d'entrée est prise dans une ouverture de filtre pour générer un pixel dans une image de sortie, caractérisé en ce que la somme pondérée comprend des produits de triplets de pixels, lesdits produits de triplets de pixels comprenant le produit multiplicatif de trois pixels multipliés les uns par les autres.

2. Traitement vidéo selon la revendication 1, dans lequel l'interpolation spatiale est effectuée.

3. Traitement vidéo selon la revendication 2, dans lequel une trame vidéo est dérivée par l'intermédiaire d'une interpolation spatiale à partir de chaque trame vidéo d'un signal d'entrée entrelacé.

4. Traitement vidéo selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la somme pondérée comprend des pixels et les produits de triplets de pixels.

5. Appareil de traitement de signal vidéo pour l'interpolation, comprenant un filtre d'interpolation prenant une somme pondérée de pixels à partir d'au moins une image d'entrée dans une ouverture de filtre, pour générer un pixel dans une image de sortie, caractérisé en ce que la somme pondérée comprend les produits de triplets de pixels, lesdits produits de

triplets de pixels comprenant le produit multiplicatif de trois pixels multipliés les uns par les autres.

6. Appareil de traitement de signal vidéo selon
5 la revendication 5, dans lequel lesdits triplets de pixels sont de la même image.

7. Appareil de traitement de signal vidéo selon
la revendication 5 ou la revendication 6, dans lequel
10 le filtre est continuellement en circuit pendant le fonctionnement de l'appareil.

8. Traitement vidéo selon la revendication 1,
comprenant des modes d'apprentissage et de traitement,
15 où dans un mode d'apprentissage, une image d'entrée à partir de laquelle une image de sortie connue et voulue peut être générée, est fournie à un appareil de traitement de signal vidéo comprenant un filtre prenant une somme pondérée de pixels à partir d'une image
20 d'entrée selon un jeu de pondérations de filtre, pour générer un pixel dans une image de sortie, la somme pondérée comprenant des produits de triplets de pixels, lesdits produits de triplets de pixels comprenant le produit multiplicatif de trois pixels multipliés les
25 uns par les autres et le jeu des pondérations de filtre optimisées pour minimiser une erreur entre ladite image connue et une sortie dudit appareil de traitement de signal vidéo et où dans un mode de traitement, une image d'entrée est fournie audit appareil de traitement
30 de signal vidéo ayant lesdites pondérations de filtre optimisées pour générer une image de sortie.

9. Traitement selon la revendication 8, dans lequel l'erreur qui est minimisée est une erreur quadratique moyenne.

5 10. Appareil selon la revendication 5, et fonctionnant sur un signal vidéo sous-échantillonné \mathbf{x} , les informations échantillonnées correctement étant disponibles pendant au moins une séquence d'apprentissage de \mathbf{x} pour générer le résultat voulu \mathbf{y}
 10 d'un traitement d'interpolation sur \mathbf{x} , le filtre prenant les sommes pondérées des produits de pixels à partir de \mathbf{N} pixels dans une ouverture de filtre ; les coefficients \mathbf{h} employés dans la pondération étant dérivés selon $\mathbf{h} = (\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{y}$ où \mathbf{X} est la matrice de \mathbf{N}
 15 pixels du signal \mathbf{x} sur la séquence d'apprentissage.

11. Appareil selon la revendication 10, dans lequel la matrice \mathbf{X} comprend les produits des paires de pixels.
 20

12. Appareil selon la revendication 10 ou la revendication 11, dans lequel la matrice \mathbf{X} comprend des produits de triplets de pixels.

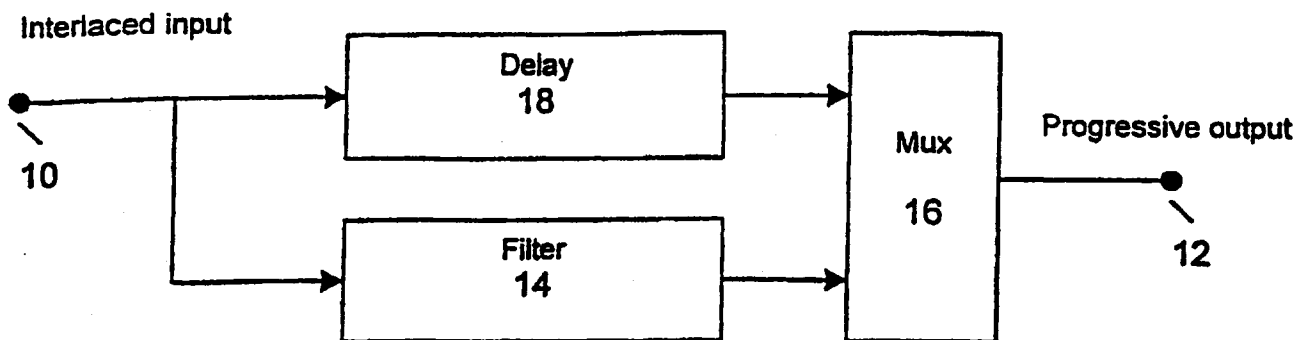
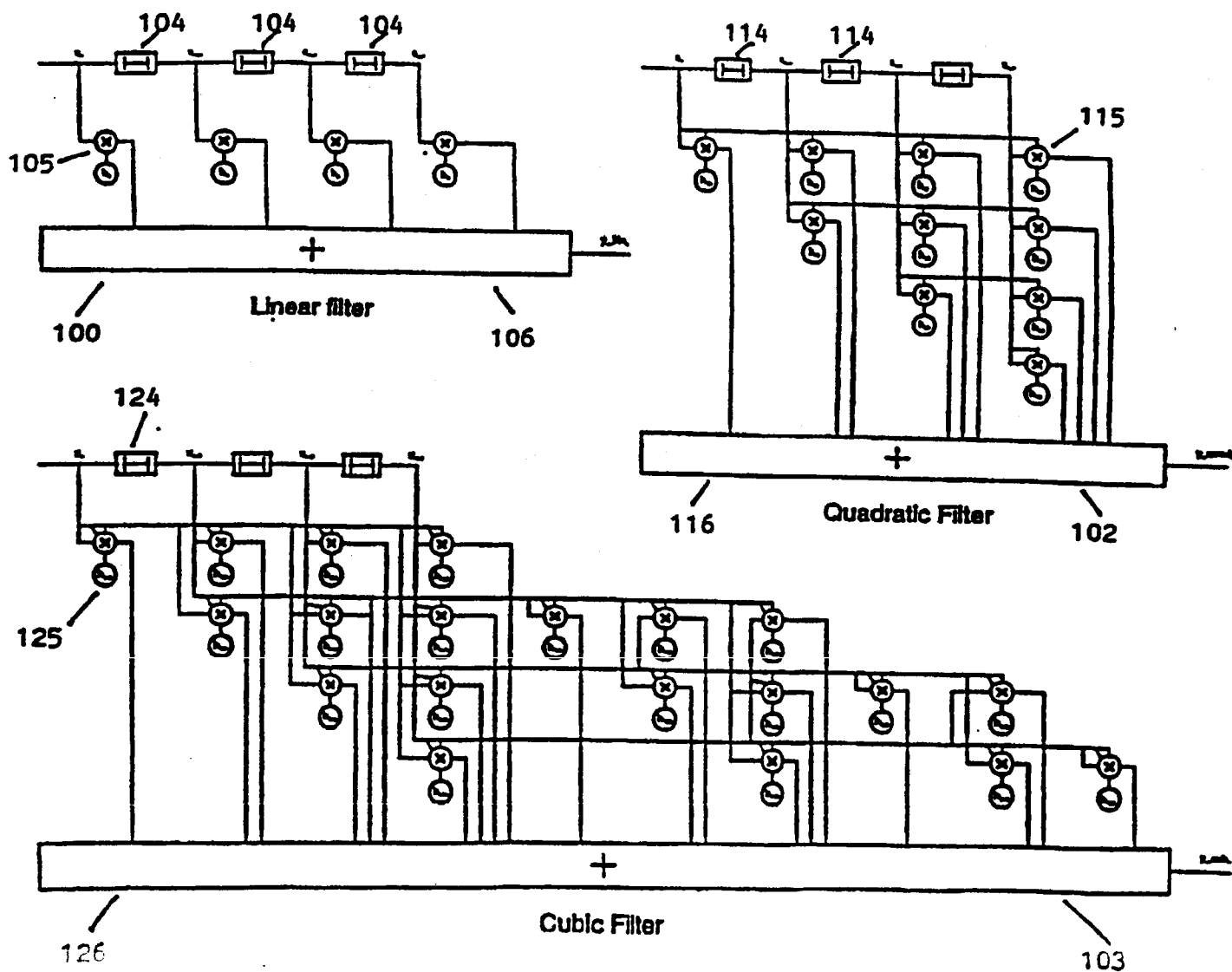


Figure 1



Output of non-linear filter: $y_n = y_{ln} + y_{quad} + y_{cub}$

Figure 2

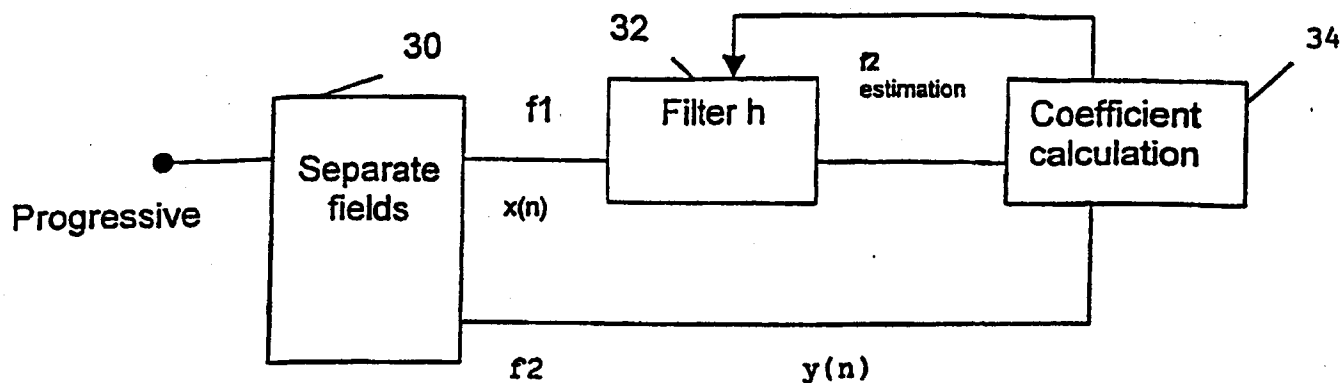


Figure 3

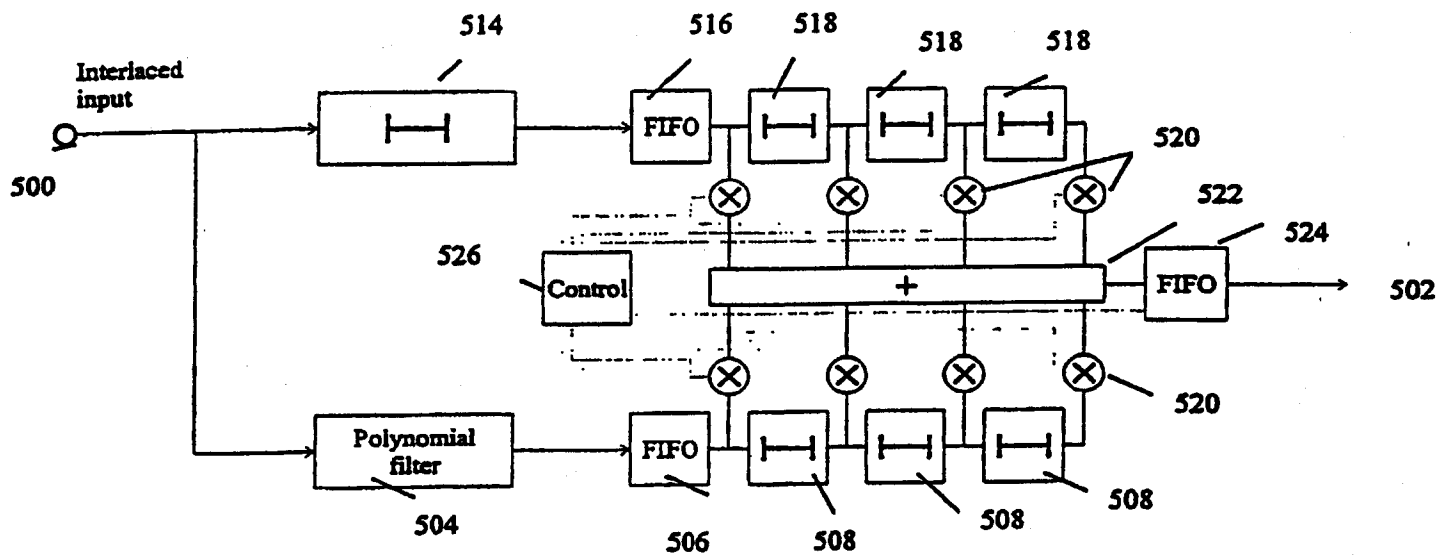


Figure 5

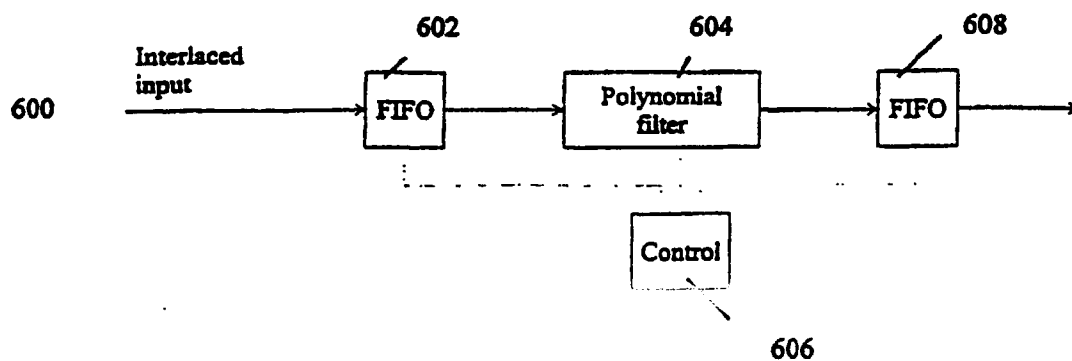


Figure 6

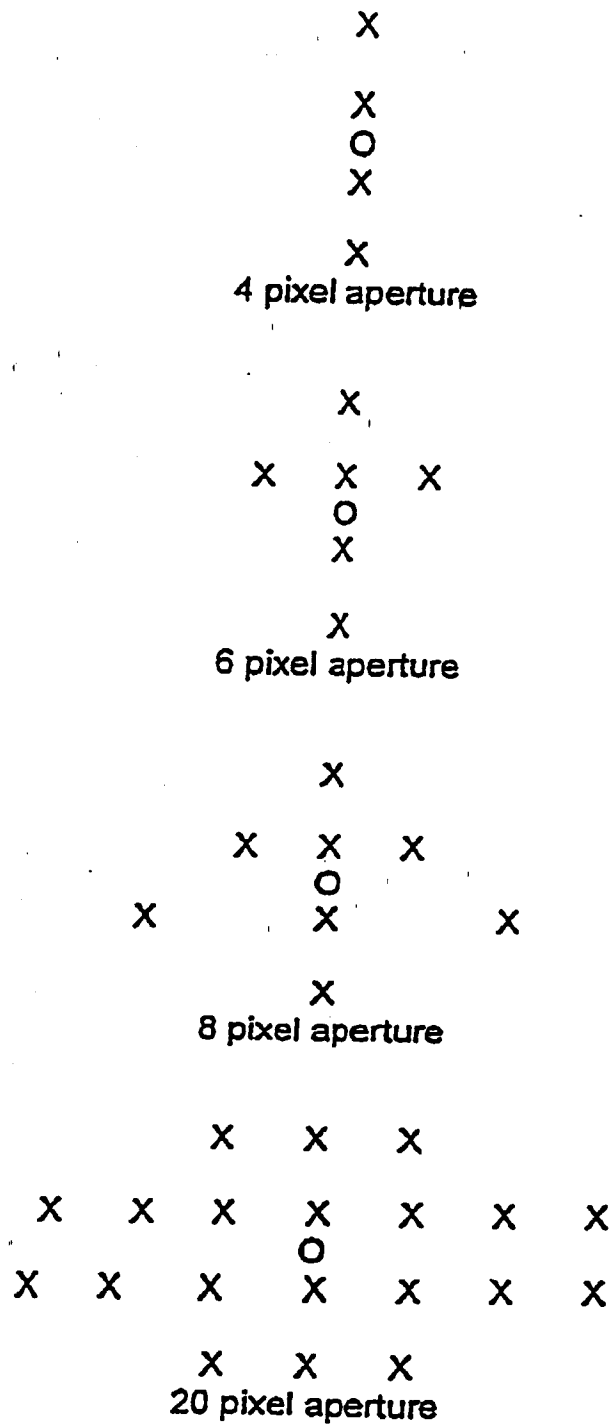


Figure 4