



NICE du 20 au 24 MAI 1985

PROCESSEUR CABLE D'ANALYSE DE TEINTES
A WIRED PROCESSOR FOR COLOR ANALYSIS

I.A. OCADIZ-LUNA, C. JUTTEN

Laboratoire de Traitement d'Images et Reconnaissance de Formes
INPG-ENSERG, 46 avenue Félix Viallet 38031 - GRENOBLE-CEDEX (France)

RESUME

SUMMARY

L'information liée à la couleur des objets présents dans une scène s'avère indispensable dans de nombreuses applications en vision par ordinateur. La manipulation de cette information implique le traitement d'une grande quantité de données non-scalaires. Un filtrage adéquat (projection du vecteur RVB sur un axe colorimétrique optimal) peut permettre de réduire la quantité de données tout en conservant l'information utile. Les données ainsi obtenues étant des scalaires, les traitements classiques, détection de contours, analyse de texture, ..., peuvent alors s'appliquer.

Nous décrivons un processeur câblé réalisant cette opération. Grâce à une analyse en composantes principales (Transformée de Karhunen-Loeve), ce processeur détermine l'axe colorimétrique dont le contenu informationnel est maximal. Puis il procède à la transformation en temps réel de l'image couleur initiale.

Cet opérateur est constitué de deux blocs principaux : un bloc ANALYSE et un bloc TRANSFORMATION. L'ensemble géré par un microordinateur fonctionne de la façon suivante : à partir de trois composantes R, V, B, issues de la caméra, le bloc ANALYSE calcule, pendant la durée d'une trame d'image, les éléments de la matrice de covariance qu'il envoie au microordinateur. Celui-ci en déduit les vecteurs propres (matrice de transformation), qu'il fournit au bloc TRANSFORMATION. Ce bloc reçoit aussi les 3 composantes R, V, B, de la caméra et élabore en temps réel la projection du vecteur sur l'axe du contenu informationnel maximal. Cette projection est visualisée en niveaux de gris sur un écran T.V.

Le processeur est conçu de façon à servir de système de prétraitement en temps réel : les signaux fournis par la caméra couleur sont transformés par l'opérateur qui délivre un signal vidéo compatible avec les processeurs classiques de traitement d'images scalaires.

The color information of the objects present in a color image is usually necessary in computer vision applications. Handling of such information requires processing of a large amount of non-scalar data. Projection of color vector (R, G, B) on a new, well selected, axis permits data reduction without loss of useful information. This new scalar data allows us to use classical scalar processing methods : edge detection, texture analysis.

In this paper we would like to describe a wired processor able to do this task. The axis of projection is determined by discrete Karhunen-Loeve method. This new axis corresponds to the axis of large amount of information (variance criteria).

This processor has two blocks : ANALYSIS block and TRANSFORMATION block, both of them controlled by a micro-computer. Based on tristimulus data (R, G, B) issued from T.V. camera, it computes statistical properties of color image : covariance matrix, average vector, etc. These values are sent to the micro-computer, which calculates transformation matrix and sends it to transformation block. This one receives also tristimulus signals and calculates the projection of these three real time signals. Image transformation is visualized in a gray level representation.

This processor is designed as a real time pre-processing system and its output signals are suitable for classical scalar processors.



1. INTRODUCTION

L'information liée à la couleur des objets présents dans une scène s'avère indispensable dans de nombreuses applications en vision par ordinateur. La manipulation de cette information implique le traitement d'une grande quantité de données non scalaires. Un filtrage adéquat (projection du vecteur RVB sur un axe colorimétrique optimal) peut permettre de réduire la quantité de données à traiter tout en conservant l'information utile.

La méthode d'analyse en composantes principales, transformation de Karhunen-Loeve (K-L), nous permet de trouver de nouveaux axes de représentation où l'information contenue dans l'image est répartie de façon optimale avec les propriétés suivantes [1] :

- les signaux couleur transformés peuvent être filtrés spatialement avec perte minimale de résolution.
- les signaux couleur transformés sont non corrélés et peuvent être traités indépendamment.
- les signaux couleur transformés ne sont pas trop sensibles aux erreurs de quantification.
- le concept de métrique dans l'espace des tristimulis et dans l'espace transformé reste inchangé puisque, la transformation de K-L est une transformation orthonormée.
- la quantité d'information contenue sur les nouveaux axes est répartie de façon décroissante en fonction de l'importance de l'axe.

2. ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES D'UNE IMAGE COULEUR

Soit \vec{M} le vecteur de moyennes des valeurs de tristimulis (R, V, B) d'une image couleur, défini par [4] :

$$\begin{pmatrix} M_R \\ M_V \\ M_B \end{pmatrix} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \begin{pmatrix} R_i \\ V_i \\ B_i \end{pmatrix} \quad (1)$$

où N est le nombre de points de l'image, R_i , V_i , et B_i sont les valeurs des tristimulis du pixel i de l'image.

Soit C la matrice de covariance des valeurs de tristimulis définie par [4] :

$$C = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \begin{pmatrix} R_i \\ V_i \\ B_i \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R_i \\ V_i \\ B_i \end{pmatrix}^t - \begin{pmatrix} M_R \\ M_V \\ M_B \end{pmatrix} \begin{pmatrix} M_R \\ M_V \\ M_B \end{pmatrix}^t \quad (2)$$

Soient λ_1 , λ_2 , λ_3 et \vec{E}_1 , \vec{E}_2 , \vec{E}_3 les valeurs propres et les vecteurs propres de la matrice de covariance de l'image couleur, on observe les propriétés suivantes :

- $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \lambda_3$
- \vec{E}_1 , \vec{E}_2 , \vec{E}_3 forment une base orthonormée.

La transformation de K-L est alors définie par la relation :

$$\begin{pmatrix} K_1 \\ K_2 \\ K_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} e_{11} & e_{12} & e_{13} \\ e_{21} & e_{22} & e_{23} \\ e_{31} & e_{32} & e_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ V \\ B \end{pmatrix} \quad (3)$$

où K_1 , K_2 , et K_3 sont les composantes principales et les e_{ij} sont les éléments du i-ème vecteur propre associé à la valeur propre λ_j de la matrice de covariance de l'image.

3. SYSTEME D'ANALYSE DE TEINTES

L'acquisition, le traitement et la visualisation des images sont réalisés par le système qui est décrit ci-dessous.

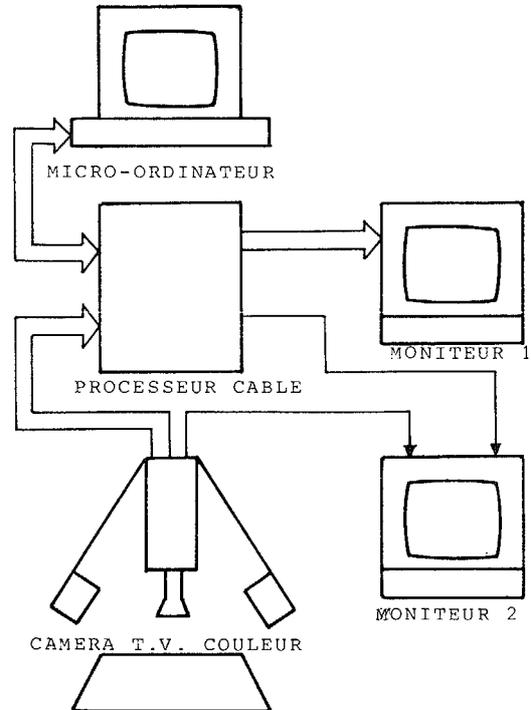


Fig. 1 : Synoptique du système d'analyse de teintes.

3.1. Microordinateur

Il est chargé de gérer le système d'analyse de teintes. On cite quelques unes des options du système.

- Sélection du dispositif de visualisation : moniteur 1 et/ou moniteur 2.
- Sélection des signaux à visualiser : une des composantes initiales, une des composantes transformées, etc.
- Contrôle du processeur câblé (demande de la matrice de covariance par exemple).
- Sélection du type de transformation à réaliser et envoi des coefficients de transformation au processeur câblé.

3.2. Acquisition et visualisation des images

Les caractéristiques de finesse de l'image couleur issue de la caméra sont les mêmes que celles d'un signal monochrome en vidéo composite. La caméra fournit en parallèle les valeurs (analogiques) des tristimulis (R, V, B), de chaque point de l'image.

Les signaux issus de la caméra sont numérisés de façon à obtenir les caractéristiques suivantes pour l'image digitale :

- Quantification de chacune des valeurs de tristimuli sur 16 niveaux. Ce qui fait une palette de 4096 couleurs
- Définition horizontale de l'image digitale égale à 256 pixels par ligne.
- Définition verticale de l'image égale à celle du système d'acquisition. Dans le cas de la caméra utilisée, on dispose de 575 lignes utiles par image.
- Nombre total de points de l'image 147.200.

Le traitement et la visualisation des images se font à partir de l'image digitale ainsi caractérisée.

3.3. Processeur câblé d'analyse de teintes

Le processeur câblé effectue les fonctions suivantes :

1. Il sert d'interface entre le micro-ordinateur et les systèmes d'acquisition et visualisation d'image (voir figure 1).

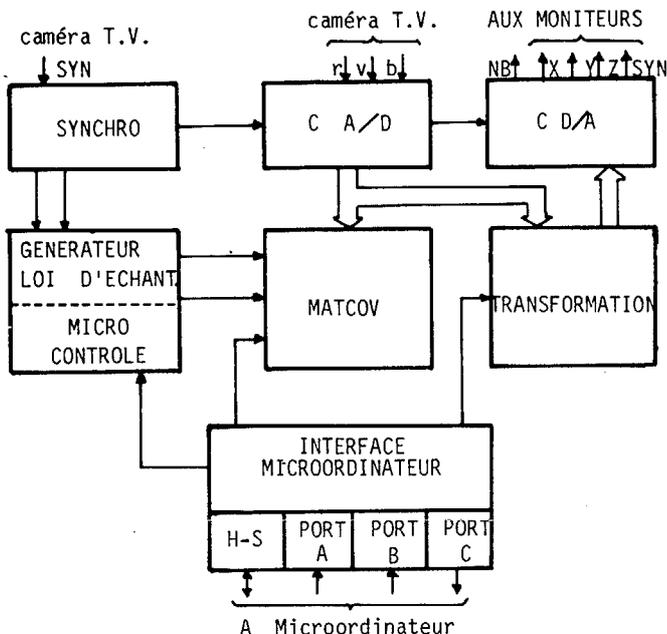


Fig. 2 : Structure du processeur câblé.

2. Il effectue les transformations en temps réel des images issues de la caméra (images digitales). Les transformations peuvent être linéaires déterministes (e.g. X-Y-Z, Y-I-Q, etc), linéaires statistiques (e.g. Karhunen-Loeve) et non linéaires (e.g. L.a.b.; U*, V*, W*).

Les transformations du type linéaire sont réalisées en temps réel par l'opérateur de calcul schématisé à la figure 3.

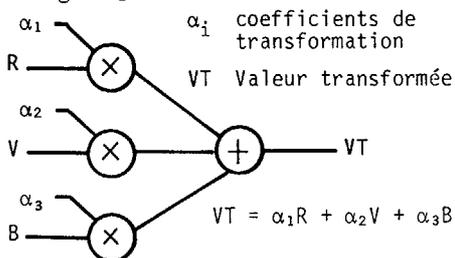


Fig. 3 : Opérateur de transformation linéaire.

Les autres transformations peuvent être réalisées par adressage d'un tableau où on a préalablement stocké les valeurs transformées (figure 4).

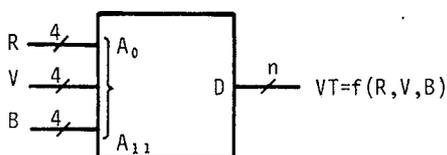


Fig. 4 : Opérateur de transformation non-linéaire. (Mémoire de transcodage).

3. Il calcule les paramètres statistiques d'une image en temps réel. (e.g. matrice de covariance, moyennes des composantes, etc). Le bloc MATCOV est chargé d'effectuer cette opération.

Le fonctionnement du bloc MATCOV du processeur câblé est illustré sur la figure 5, et sa position dans le dispositif complet est présentée dans la figure 1.

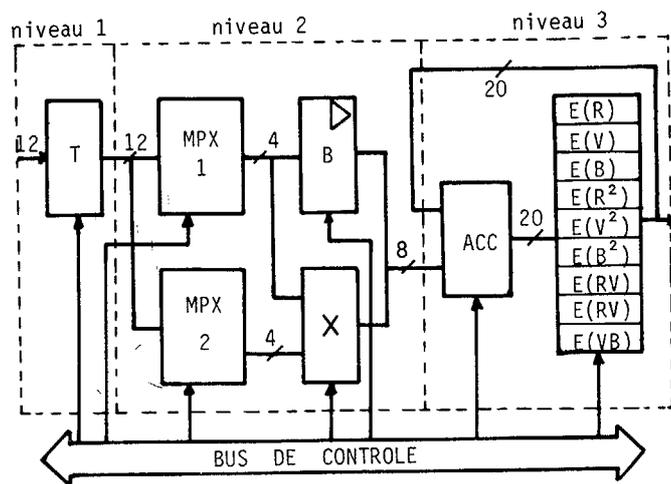


Fig. 5 : Bloc de calcul des propriétés statistiques (MATCOV)

Le premier niveau, constitué du tampon T, mémorise un pixel sur seize, les valeurs des tristimulus R, V, et B (sur 4 bits chacun).

Le second niveau constitué des deux multiplexeurs MPX1 et MPX2, du buffer B et du multiplieur X, présente successivement à l'entrée de l'additionneur-accumulateur (3ème niveau) les valeurs R, V, B puis les produits R², V², B², RV, ...

Dans le troisième niveau, l'additionneur-accumulateur met à jour les différentes valeurs nécessaires au calcul des paramètres statistiques.

Le séquençement de ces trois niveaux est assuré par un microprogramme.

Le calcul de la matrice de covariance se fait à partir des données numérisées des trois valeurs de tristimulus issues du bloc C A/D (Fig.2). On considère 4576 pixels (16 pixels par ligne et 286 lignes). Le temps de calcul est égal à la durée de la trame (20 ms).

Le choix de ne prendre que 16 pixels sur chaque ligne est dû au matériel utilisé, (période d'horloge égale à 200 ns) : pendant une période d'horloge il faudrait calculer 9 valeurs ce qui nécessiteraient un total de 9 additions plus 6 multiplications, donc un temps d'exécution unitaire de 13 ns (si l'on considère un temps identique pour chaque opération).

Sachant que la corrélation horizontale entre les pixels des lignes d'une image est de l'ordre de (0.9)ⁿ, n étant la distance entre pixels [3], et en faisant un choix adéquat de pixels pour calculer la matrice de covariance, on peut arriver à gagner suffisamment de temps pour effectuer les opérations en question, sans pour cela modifier de façon importante les valeurs de la matrice de covariance [6].

Pour éviter le problème de biais des coefficients statistiques (e.g. échantillonnage réalisé de manière régulière mal adaptée aux images où se présentent des textures périodiques), on a choisi les échantillons



type, de la façon suivante : chaque ligne a été divisée en 16 blocs de 16 pixels, et dans chacun des blocs on choisit un pixel au hasard. La distribution de probabilités du "choix" est uniforme et chaque "choix" est indépendant des autres.

Les coefficients de la matrice de covariance sont calculés d'après l'équation (2), ces coefficients sont calculés sans troncature (20 bits par coefficient).

Ces coefficients sont calculés de la façon indiquée sur la figure 5. On utilise une structure du type additionneur-multiplicateur multiplexé en temps contrôlé par un séquenceur microprogrammé (PROM) de 16 bits. Grâce à cette structure les changements dans les calculs de paramètres sont possibles. La microprogrammation actuelle permet de calculer la valeur des moyennes des composantes et la matrice de corrélation de l'image couleur en temps réel (20 ms).

3.4. Procédé utilisé pour l'obtention de la transformation de K-L d'une image couleur.

Les paramètres statistiques de l'image, obtenus de la façon indiquée au § 3.3 (moyennes des tristimulis et matrice de corrélation), sont envoyés au microordinateur, celui-ci calcule par programme les valeurs et vecteurs propres (temps de calcul inférieur à 1,3 s. par vecteur sur un microordinateur 8 bits, en Basic compilé). La matrice de transformation (vecteurs propres) est alors envoyée au processeur qui effectue immédiatement la transformation.

La transformation de l'image est alors effectuée en temps réel par le bloc TRANSFORMATION du processeur (fig. 2). On utilise l'opérateur de transformation linéaire (fig. 3). Le temps de mise à jour des coefficients de transformation est inférieur à 4 s.

4. RESULTATS EXPERIMENTAUX

Le fonctionnement de différents blocs de l'opérateur ayant été vérifié, (on a fixé différents signaux binaires à l'entrée de trois convertisseurs A/D), il reste à évaluer les "incertitudes de mesures" de la chaîne d'acquisition complète : depuis l'obtention des valeurs de tristimulis (grandeurs analogiques issues de la caméra) jusqu'aux valeurs calculées des paramètres statistiques.

Les erreurs de mesure (incertitude) sont principalement dus :

- à l'échantillonnage utilisé.
- au bruit de quantification dans le convertisseur A/D. Les erreurs dues aux arrondis sur les coefficients de la matrice de covariance sont négligeables (troncature faite lors de l'envoi au microordinateur des coefficients et non pendant leur calcul, voir § 3.3).
- à la non uniformité de l'éclairage de l'image. Ce phénomène est accentué par la non linéarité du contrôle automatique de gain et par la pondération non uniforme du posemètre de la caméra utilisée.

La contribution de chacun de ces facteurs à l'erreur dans le calcul des paramètres statistiques est difficile à évaluer séparément, mais on peut déterminer facilement la valeur de l'erreur totale.

4.1. Adéquation de l'échantillonnage choisi

En fonction du déplacement horizontal de l'image, on a relevé des incertitudes dans le calcul de ses paramètres statistiques. Or cette image (mire papier à barres verticales de même largeur que les blocs

d'échantillonnage, voir § 3.3) est, par construction, caractérisée par l'invariance des paramètres statistiques lors d'un quelconque déplacement horizontal.

L'incertitude dans le calcul des valeurs des moyennes est inférieure à 2 %, et inférieure à 4 % dans le calcul des coefficients de la matrice de corrélation.

Ces variations tiennent compte des interactions dues, d'une part au "choix" des pixels pour le calcul, et d'autre part au déplacement horizontal de la mire. Le déplacement peut être interprété comme un changement de l'emplacement des objets sur l'image.

4.2. Incertitude (biais) dans les mesures, due à la couleur du fond de l'image.

Les variations des paramètres statistiques sur une image figée où l'on a réalisé 16 acquisitions sont montrées dans le tableau 1. Le pourcentage indique l'incertitude globale maximale dans le calcul du coefficient concerné.

Pour les mêmes objets placés sur des fonds différents, on observe des variations, plus ou moins importantes des coefficients calculés. Dans ces images, le fond (noir ou blanc) occupe 50 % de la surface totale.

	fond noir	fond blanc
	*	*
E(R)	1,5 %	1,0 %
F(V)	1,5 %	1,0 %
E(B)	1,5 %	1,0 %
E(R ²)	4,0 %	2,5 %
E(V ²)	4,0 %	2,5 %
E(B ²)	4,0 %	2,5 %
E(RV)	2,5 %	2,0 %
E(RB)	2,5 %	2,0 %
E(VB)	2,5 %	2,0 %

Tableau 1

*Incertitude globale inférieure ou égale au pourcentage indiqué.

On constate d'abord que pour un fond clair l'incertitude dans les mesures est plus faible. La principale raison en est le CAG de la caméra qui n'est stable que pour des niveaux suffisamment élevés des valeurs de tristimulis.

Cependant, le fond, pour le processeur statistique, est considéré comme un objet de même surface et de même teinte, et par conséquent affecte l'orientation des nouveaux axes de projection (transformation de K-L). Ce biais dans la transformation augmente :

- avec la surface du fond,
- avec le module du vecteur $\|R, V, B\|$ du fond.

En pratique, on aura tout intérêt à réduire la surface du fond et à choisir (pour le fond) la teinte permettant le meilleur compromis (cf. tableau 2).

	Avantages	Inconvénients
Fond noir	Pas de biais dans la transformation de K-L	CAG mal adapté Bruit de quantification important en pourcentage
Fond blanc	Bruit de quantification faible en %.	Modification de l'orientation des axes dans la Trans de K-L.

Tableau 2



4.3. Transformation de K-L d'une image couleur

L'image à transformer est du type portrait, voir figure 6.

Les valeurs obtenues pour le calcul de la transformée sont :

Moyenne de composantes* : Rouge 0.4729
Verte 0.3981
Bleue 0.5251

*Incertitude dans le calcul inférieure à 0,5 %.

Matrice de covariance** : 0.0409 0.0451 0.0455
0.0451 0.0624 0.0480
0.0455 0.0480 0.0535

**Incertitude inférieure à 2,0 %.

$\lambda_1 = 0.14555$ $\lambda_2 = 0.01055$ $\lambda_3 = 0.00086$

Matrice de transformation : 0.5225 0.6215 0.5835
0.0 0.6844 -0.7290
-0.8525 0.3809 0.3576

Information contenue dans le plan avant et après transformation :

rouge = 26,1 %	$K_1 = 92,72$ %
verte = 39,79 %	$K_2 = 6,73$ %
bleue = 34,01 %	$K_3 = 0,55$ %

CONCLUSIONS

La transformation de K-L malgré ses propriétés très intéressantes est restée jusqu'à maintenant une technique de prétraitement peu utilisée dans les processeurs temps réel.

Cet opérateur permet l'emploi de cette technique en temps réel. Les résultats de réduction des données sont très satisfaisants.

L'incertitude dans le calcul des paramètres statistiques est acceptable : de 4 % dans le pire des cas. (cas des images très biaisées où les objets sont peu illuminés).

Les axes de projection sont peu affectés par ces variations. En pratique, le "choix" du fond et l'utilisation d'une caméra à commande externe du CAG, permettront une diminution considérable de l'erreur.

L'utilisation de l'information contenue dans les deux autres composantes, obtenues après transformation, est envisageable : détection du changement de la distribution de l'espace colorimétrique de l'image originale (e.g. apparition ou disparition d'un objet sur l'image). Ce qui peut être interprété comme une détection post-apprentissage.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] PRATT W.K.
"Spatial transform coding of color images"
IEEE Trans. Comm. Techn. COM-19, 1971
- [2] YU-ICHI OHTA
"A region oriented image analysis system by computer"
Department of Information Science Kyoto University, March 1980
- [3] PRATT W.K.
"Digital image processing"
Wiley & Sons, 1978

[4] GONZALEZ R.C., WINTZ P.
"Digital image processing"
Adisson-Wesley, 1977

[5] HALL E.L.
"Computer image processing and Recognition"
Academic Press, 1979

[6] DIDAY E., LEMAIN J.
"Eléments d'analyse de données"
Dunod, Paris 1982



(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 6 : Transformation de K-L d'une image couleur.

- (a) image originale
- (b) composante K_1
- (c) composante K_2
- (d) composante K_3