

Décodage d'un motif structurant codé par la couleur

David FOFI¹, El Mustapha MOUADDIB¹, Joaquim SALVI²

¹CREA, Université de Picardie Jules Verne
7, rue du Moulin Neuf, 80000 Amiens (France)

²IliA, Universitat de Girona
Avda. Lluís Santaló s/n, 17001 Girona (Espanya)

David.Fofi@u-picardie.fr

Résumé – Cet article présente un algorithme de décodage d'un motif structurant permettant, en une seule prise de vue, de déterminer, à partir des couleurs apparentes dans l'image, les couleurs initialement projetées parmi six primitives. Nous montrons qu'un simple algorithme de coalescence, judicieusement initialisé, permet un tel décodage. Nous basons son initialisation sur le positionnement relatif des six classes de couleur dans l'espace Lab.

Abstract – *In this article, we present a algorithm for the decoding of a light pattern which allows us to determine the projected colours from the captured ones, among six primitives. It is shown that a simple clustering algorithm, judiciously initialized, permits such a decoding. The initialization is based on the relative positioning of the six colour classes in the Lab-space.*

1. Introduction

Le problème de la mise en correspondance en stéréovision demeure délicat et, parfois même, insoluble, quand les surfaces sont peu ou pas texturées ou en l'absence d'un nombre suffisant de points caractéristiques. On peut avantageusement remplacer l'une des caméras par une source lumineuse pour contourner ce problème : si l'on projette un simple point de surbrillance sur les objets à mesurer, la mise en correspondance est univoque et le problème inexistant ; si l'on projette un plan de lumière formant une trace à la surface de ces objets, on peut vérifier que le problème, en regard de la mise en correspondance, n'est pas beaucoup plus compliqué que précédemment. Dans l'un et l'autre cas, un balayage de la scène s'avère nécessaire. Pour résoudre ce nouveau problème, on peut imaginer la projection d'un motif bi-dimensionnel, ou *motif structurant* ; souvent, une grille ou une matrice de points. Cette fois, pour différencier un nœud de la grille d'un autre, ou un point de la matrice d'un autre, un codage du motif est nécessaire. Le décodage se substitue alors à la mise en correspondance des points homologues. Nous proposons, dans cet article, un algorithme de décodage pour un motif structurant codé par la couleur ne nécessitant qu'une seule prise de vue. L'image est initialement convertie dans l'espace Lab dont la topologie est utilisée pour initialiser un algorithme de coalescence.

Dans la section qui suit, nous présentons le concept de lumière structurée et le codage que nous utilisons. Dans la troisième section, nous détaillons l'algorithme de décodage et les quelques bases colorimétriques qui le sous-tendent. Finalement, nous présentons quelques résultats expérimentaux et concluons dans la cinquième section.

2. Lumière structurée et codée

2.1 Définition

Une lumière structurée est une source lumineuse modulée dans l'espace, le temps, l'intensité et/ou la couleur. La vision en lumière structurée consiste à projeter une telle source lumineuse sur l'environnement, lui-même observé par une ou plusieurs caméras CCD ; il s'agit en fait de remplacer, dans un système stéréoscopique classique, une caméra par un projecteur de lumière. La lumière structurée et codée est une technique basée sur la projection de patrons de lumière (ou motifs structurants). Le codage du patron permet de résoudre de manière efficace le problème de la mise en correspondance. Chaque élément (lignes, points, etc.) de la lumière projetée porte un code permettant de déterminer sa position au sein du patron. La reconnaissance de ce code dans l'image garantit une mise en correspondance unique. Le motif peut être codé uniquement le long de ses lignes ou de ses colonnes, étant bien entendu qu'un codage le long des deux axes garantit une codification plus robuste.

2.2 Codage du motif

Salvi, Batlle et Mouaddib [4] ont proposé une grille composée de lignes horizontales et verticales régulièrement espacées et codée suivant les deux axes. Le codage est absolu et s'obtient à partir d'une unique projection, ce qui le rend utilisable pour la mesure de scènes dynamiques. Chaque ligne du motif est colorée de manière à ce que le triplet qu'elle forme avec ses deux plus proches voisins n'apparaisse qu'une fois dans l'ensemble du motif. Le codage des lignes horizontales et verticales repose sur des primitives de couleur différentes, ce qui permet de les segmenter indépendamment. Le rouge, le vert et le bleu servent à colorer les horizontales ;

le cyan, le magenta et le jaune, les verticales. Les primitives ont été choisies bien espacées dans le cône TSI pour faciliter leur discrimination. Pour augmenter le nombre de points utiles du patron, il suffit d'incrémenter le nombre de primitives de couleur, au prix, bien sûr, d'un décodage plus malaisé. En utilisant six primitives, la taille maximale de la grille est de 29×29.

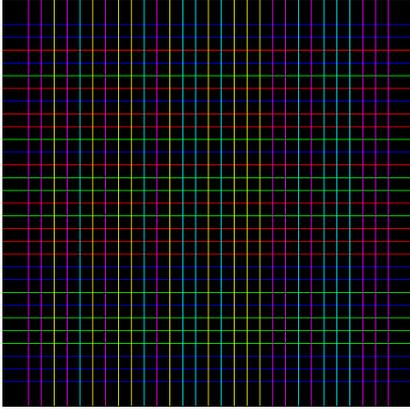


FIG. 1 : Motif structurant utilisé

3. Décodage du motif structurant

3.1 Espace des couleurs

Un *espace des couleurs* est une représentation géométrique des couleurs dans un espace généralement tridimensionnel. En 1931, la Commission Internationale de l'Éclairage (CIE) a recommandé, à cet effet, l'emploi d'un système de repérage conventionnel utilisant trois couleurs primaires spectralement définies avec les longueurs d'ondes dominantes. En vision par ordinateur, on connaît l'espace RVB (Rouge, Vert, Bleu) et son complémentaire, l'espace CMJ (Cyan, Magenta, Jaune) ; on utilise également l'espace TSL (pour Teinte, Saturation, Luminance) et ses variantes (TSI, TSV, etc.). Les colorimètres travaillent principalement dans l'espace XYZ, issu de l'espace RVB dont il est une transformée linéaire. Cet espace corrige quelques inconvénients du système RVB, comme nous le verrons plus loin.

On appelle espace à *chromaticité constante* (ou espace des couleurs *uniforme*), un espace au sein duquel les distances représentent approximativement des différences de couleurs perçues par l'œil. L'espace RVB n'est pas uniforme, contrairement à l'espace TSL ou à l'espace Lab, adopté par la CIE [3], qui entend copier la réponse logarithmique de l'œil telle qu'elle est décrite par la loi de Weber-Fechner (1).

$$R = \text{Log} \left(\frac{S}{S_0} \right) \quad (1)$$

Où S est l'excitation (le stimulus) et R la réponse de l'œil. La sensation est proportionnelle au logarithme de l'excitation

3.2 Conversion RVB / Lab

Pour convertir une couleur de l'espace RVB vers l'espace Lab, il faut passer par un espace intermédiaire, appelé XYZ,

dont les bases théoriques résident dans les travaux de Wright [5] et Guild [2]. Ses couleurs primaires ont la particularité d'être imaginaires et définies telles que les coordonnées couleurs soient toujours positives ; la luminance de X et Z soient nulles, autrement dit Y concentre à elle seule l'information de luminance du signal ; le blanc soit représenté par un point défini par un mélange en quantités égales des trois primaires. Le passage de l'espace RVB à l'espace XYZ est donné par :

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 0.618 & 0.177 & 0.205 \\ 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.000 & 0.056 & 0.944 \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (2)$$

Il suffit maintenant d'appliquer les formules suivantes pour passer dans l'espace Lab :

$$\begin{cases} L = 116 \cdot \left(\frac{Y}{Y_0} \right)^{1/3} - 16 & \text{pour } \frac{Y}{Y_0} > 0.008856 \\ L = 903.3 \cdot \left(\frac{Y}{Y_0} \right) & \text{pour } \frac{Y}{Y_0} \leq 0.008856 \\ a = 500 \cdot \left(f \left(\frac{X}{X_0} \right) - f \left(\frac{Y}{Y_0} \right) \right) \\ b = 200 \cdot \left(f \left(\frac{Y}{Y_0} \right) - f \left(\frac{Z}{Z_0} \right) \right) \end{cases} \quad (3)$$

où (X_0, Y_0, Z_0) sont les coordonnées du blanc de référence, et la fonction f est donnée par :

$$\begin{cases} f(t) = \sqrt[3]{t} & \text{pour } t > 0.008856 \\ f(t) = 7.7787 \cdot t + \frac{16}{116} & \text{pour } t \leq 0.008856 \end{cases} \quad (4)$$

Le tableau 1 présente quelques exemples de conversion de l'espace RVB vers l'espace Lab pour les trois couleurs primaires, leurs complémentaires, le blanc et le noir. L'échelle des couleurs RVB est originellement normalisée.

3.3 Algorithme de décodage

Dans l'espace CIE-Lab, l'*écart colorimétrique* s'exprime par la formule (5). L'information de teinte étant concentrée dans les variables a et b , on va choisir une distance, appelée *écart chromatique*, ne faisant intervenir que ces deux composantes (6).

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad (5)$$

$$\Delta C = \sqrt{\Delta a^2 + \Delta b^2} \quad (6)$$

où Δ représente une différence.

Des mesures ont été effectuées sur une dizaine d'images où les composantes a et b des primitives de couleur ont été calculées. Nous avons ainsi cherché à vérifier le pouvoir discriminant d'un tel espace. La figure 2 présente les résultats de mesures effectuées sur une seule de ces images.

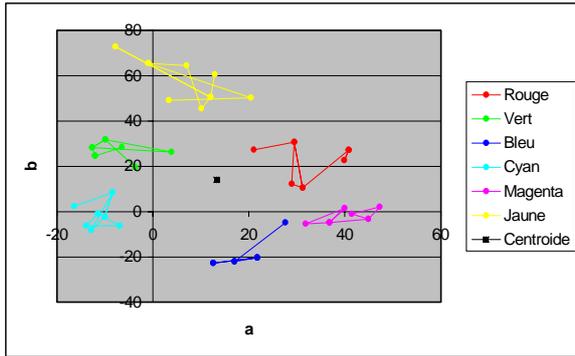


FIG. 2 : Classification des primitives de couleur

Une première constatation s'impose : les classes, si elles sont bien discriminées, sont très éloignées des mesures de référence théoriques ; elles semblent toutes se rapprocher du point d'achromatisme (0, 0), ce qui réduit leur pouvoir discriminant. Sur cet exemple, les coordonnées du barycentre des points sont approximativement (13, 14). En revanche, le positionnement relatif des six classes est respecté : le jaune est bien la classe dont la composante b est la plus forte, le bleu dont la composante b est la plus faible, le vert se trouve bien entre le jaune et le cyan, etc. L'idée est d'utiliser un algorithme de coalescence [1] pour partitionner les mesures en six classes représentant chacune une primitive de couleur et d'utiliser le positionnement relatif pour initialiser l'algorithme. Rappelons d'abord le principe de la coalescence : sur la base d'une partition en n classes, on affecte les mesures aux différentes classes de manière à minimiser un certain critère (ici, l'écart chromatique). Le nombre de classes doit être connu *a priori*. Les étapes de l'algorithme sont les suivantes :

1. Choisir n centres de classe.
2. Créer une nouvelle partition en affectant chaque vecteur au centre de la classe qui est la plus proche.
3. Calculer les centres de gravité des classes ainsi obtenues.
4. Répéter les étapes 2 et 3 jusqu'à obtenir un extremum pour le critère retenu.
5. Eventuellement, revoir le nombre de classes en regroupant les classes peu remplies ou en éclatant les classes trop importantes ou en éliminant les points ou classes aberrantes.

On a pu constater avec ce type d'algorithme que le partitionnement final dépend de l'initialisation des centres de classe. Au lieu de choisir arbitrairement n points parmi les mesures comme centres de classe initiaux, nous utilisons le positionnement relatif des six classes, connu *a priori*, pour déduire les coordonnées des six centres de classe. On calcule tout d'abord le centre de gravité de tous les points mesurés dans l'espace (a, b) ; notons \bar{m} ce point. On extrait ensuite des mesures le point dont la composante b est la plus élevée ; on suppose que ce point est membre de la classe jaune. On calcule l'écart chromatique d entre ces deux points. Puisque l'on connaît les valeurs théoriques des six primitives de

couleur (tableau 1), on va placer le centre m_i de classe i de la manière suivante :

$$m_i = \frac{d}{\|a_i^2 + b_i^2\|} \cdot \begin{pmatrix} a_i \\ b_i \end{pmatrix} + \bar{m} \quad (7)$$

où a_i et b_i représente les valeurs théoriques. La première classe est initialisée dans la direction théorique du rouge, la deuxième dans la direction théorique du bleu, etc. Grâce à l'initialisation, à la connaissance *a priori* du positionnement relatif des classes et à l'algorithme de coalescence, on obtient directement la classification des points mesurés dans les six classes représentant chacune une primitive de couleur. Cet algorithme peut être affiné en deux points : il est possible d'éliminer les mauvaises classifications en prenant en compte le fait que tous les points appartenant à un même élément de motif (vertical ou horizontal) sont de même couleur ; si l'on connaît *a priori* la géométrie du système, il est possible de partitionner indépendamment les primitives utilisées pour le codage des verticales et des horizontales.

4. Résultats expérimentaux

Pour ces résultats, nous avons pointé à la main des points appartenant aux éléments du motif, en évitant les points d'intersection. Nous avons mesuré dix points différents par primitive de couleur ; les points ont été choisis de manière à couvrir toute l'étendue de l'image et le plus d'éléments de motif possible. Aucun point du sol dont l'obscurité est semble trop importante n'a cependant été mesuré. Sur la figure 3 (en haut), les soixantes points mesurés ont été classés convenablement. Le mouvement des centres de classe nous montre que l'initialisation permet d'aller du "plus" discriminant (plus on s'éloigne de l'origine, plus les couleurs peuvent être discriminées facilement) vers le "moins" discriminant ; c'est un avantage puisque le mouvement inverse serait susceptible de faire dévier les membres d'une classe vers une classe voisine. On constate également que les centres de classe restent à tout moment assez éloignés les uns des autres. Sur le second exemple au bas de la figure 3, on constate, à l'oeil, que le bleu et le magenta sont difficilement discriminables et qu'il en est de même pour le vert et le jaune. Les résultats donnés par l'algorithme corroborent cette impression visuelle. Si la classe rouge est entièrement reconnue, deux points verts sont classés parmi les jaunes, huit points magentas passent chez les bleus et deux points magentas chez les cyans. En analysant le mouvement des centres de classe, on voit que le centre de la classe jaune se dirige clairement vers la classe verte, ce qui explique les confusions générées par l'algorithme. D'autre part, le magenta est complètement absorbé par le bleu et n'est pas reconnu. En fait, l'algorithme donne des résultats tout à fait comparables à l'interprétation visuelle que l'on peut avoir des images. Pour rendre la reconnaissance des couleurs plus robustes, on peut décoder indépendamment les verticales et les horizontales de l'image.

5. Conclusions

Nous avons proposé un algorithme de décodage, spécifique à une lumière structurée et codée, permettant de résoudre efficacement le problème de la mise en correspondance. A cet effet, l'image est convertie dans un espace des couleurs à chromaticité constante, l'espace Lab, et le décodage effectué à l'aide d'un algorithme de coalescence. L'initialisation de l'algorithme respecte le positionnement relatif des six couleurs dans cet espace. Les résultats expérimentaux que nous avons réalisés montrent que la classification finale est assez proche de celle que pourrait faire un observateur humain. Le décodage s'effectue en une seule prise de vue et permet donc l'utilisation du capteur en mouvement.

Références

- [1] B. Dubuisson, *Diagnostic et reconnaissance des formes*, Editions Hermes, 1990.
- [2] J. Guild, "The colorimetric properties of the spectrum", *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, A230, pp. 149-187, 1931.
- [3] K. McLaren, "The development of the CIE 1976 ($L^*a^*b^*$) uniform colour space and colour-difference formula", *Journal of the Society of Dyers and Colourists*, 92, pp. 338-341, 1976.
- [4] J. Salvi, J. Batlle, E. Mouaddib, "A Robust-Coded Pattern Projection for Dynamic 3D Scene Measurement", *Pattern Recognition Letters*, 19(1998), pp. 1055-1065, 1998.
- [5] W.D. Wright, "A re-determination of the trichromatic coefficients of the spectral colours", *Transactions of the Optical Society*, 30, pp. 141-164, 1928.

TAB. 1 : Conversion des couleurs

	R	V	B	X	Y	Z	L	a	b
Rouge	1	0	0	0.618	0.299	0.000	61.568	91.548	133.74
Vert	0	1	0	0.177	0.587	0.056	81.126	-137.9	90.942
Bleu	0	0	1	0.205	0.114	0.944	40.246	52.378	-99.22
Cyan	0	1	1	0.382	0.701	1.000	87.046	-81.37	-22.33
Magenta	1	0	1	0.823	0.413	0.944	70.386	96.213	-47.25
Jaune	1	1	0	0.795	0.886	0.056	95.413	-17.04	115.57
Blanc	1	1	1	1	1	1	100	0	0
Noir	0	0	0	0	0	0	0	0	0

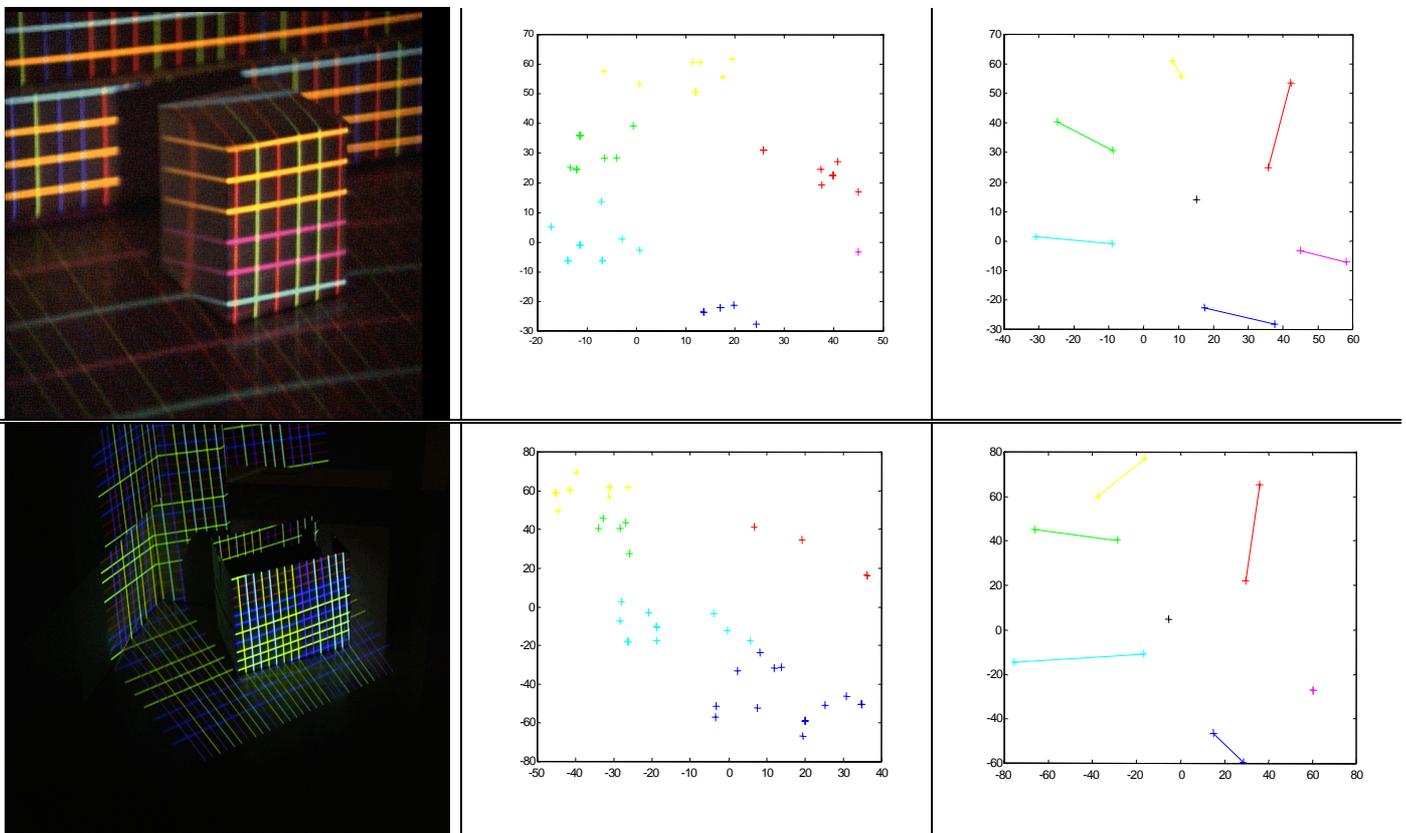


FIG. 3 : Décodage. A gauche : l'image d'origine. Au centre : les points classés. A droite : le mouvement des centres de classe