

# Critère quaternionique basé sur la teinte pour l'extraction ciblée de couleur

Frédéric PETIT<sup>1</sup>, Anne-Sophie CAPELLE-LAIZÉ<sup>1</sup>, Philippe CARRÉ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire XLIM dépt. SIC  
Université de Poitiers, UMR CNRS 6172  
Bd Pierre et Marie Curie. 86962 Futuroscope, France  
{petit, capelle, carre}@sic.univ-poitiers.fr

**Résumé** – Dans cet article, une méthode d'extraction de zones spécifiques basée sur un critère couleur est présentée. Les méthodes de segmentation et de détection de contours couleur usuelles réalisent un traitement global de l'image. L'image entière est subdivisée en plusieurs régions en labélisant les pixels, ou en déterminant les frontières dans le cas d'une détection de contours. Notre proposition est d'extraire uniquement les zones spécifiques d'une image qui partagent un attribut couleur, autrement dit qui partagent une couleur commune en se basant sur la teinte. Les transformations géométriques quaternioniques dans l'espace RGB sont utilisées. Un axe colorimétrique est défini. A partir de cet axe, un critère défini un sous-espace couleur dans l'espace couleur RGB en s'appuyant sur l'interprétation Teinte-Saturation-Intensité d'un vecteur RGB.

**Abstract** – In this paper, a method of specific colored area extraction into a color image is presented. Usual color segmentation or edge detection operators perform a global processing on the image. The whole image is subdivided into several region by labeled pixels, or boundaries in case of an edge detection. Our purpose is to extract only specific areas into an image sharing a color attribute, hence sharing a common color based on a specific hue. The quaternionic geometrical transformation into RGB color space is used. A hue axis is defined. From this axis, a criterion defines a color subspace into an RGB color space using the quaternionic HSI interpretation of RGB vectors.

## 1 Introduction

Un très grand nombre d'approches, telles que [1, 2, 3], ont été proposées pour effectuer une détection de contours dans des images couleur. La détection de contour est une étape importante pour réaliser la segmentation d'une image. Toutefois, ces méthodes effectuent une détection globale et fournissent une subdivision complète de l'image. Le but de la méthode présentée est d'extraire des pixels d'une couleur spécifique dans l'image en utilisant les quaternions. Les méthodes existantes [5, 6, 7] ne prennent pas en compte l'intensité et la saturation. Notre but est d'extraire des ruptures entre des contenus colorés précis pour extraire des zones de couleur semblable. Les quaternions sont utilisés dans cette méthode pour formaliser efficacement des transformations géométriques dans l'espace couleur. Le critère proposé est basé sur l'interprétation quaternionique TSI d'un vecteur RGB. Les quaternions sont brièvement introduit ainsi que la représentation TSI. Un détecteur de contour quaternionique [4] est présenté. Deux approches duales, utilisant une définition de sous-espace, effectuent une segmentation de zones de couleur commune et une détection de contour en accord avec le critère couleur.

## 2 Quaternions

### 2.1 Définitions

Les quaternions (ou nombres hypercomplexes) sont une extension des nombres complexes à quatre dimensions. Ils peuvent être considérés comme des nombres complexes avec une partie réelle et trois parties imaginaires. Un quaternion  $q \in \mathbb{H}$  est usuellement représenté par,  $q = w + xi + yj + zk$ , où  $w, x, y$  et  $z$  sont réels et  $i, j$  et  $k$  sont des opérateurs complexes qui suivent les propriétés suivantes  $i^2 = j^2 = k^2 = ijk = -1$  et  $ij = k, jk = i, ki = j, ji = -k, kj = -i, ik = -j$ . Etant donné un quaternion  $q$ , son conjugué est  $\bar{q} = w - xi - yj - zk$  et son module est  $|q| = \sqrt{w^2 + x^2 + y^2 + z^2}$ . Un quaternion *pur* est un quaternion avec une partie réelle nulle et quaternion *unitaire* un module unitaire égale à 1. L'ensemble des quaternions purs est usuellement noté  $\mathbb{P}$  et l'ensemble des quaternions unitaires est usuellement noté  $\mathbb{S}$ . Un quaternion  $q$  peut être divisé en une partie scalaire  $S[q]$  et une partie vectorielle  $V[q]$ . Par conséquent,  $q = S[q] + V[q]$  ou  $V[q] = xi + yj + zk$ .

Si l'on considère un quaternion pur représentant un vecteur tri-dimensionnel de  $\mathbb{R}^3$ , cette représentation vectorielle induit une propriété intéressante du produit quaternionique. Le quaternion  $q = q_1 q_2$  peut s'écrire, avec  $V_1$  et  $V_2$ , les parties vectorielles respectives de  $q_1 \in \mathbb{P}$  et de  $q_2 \in \mathbb{P}$  :

$$q = q_1 q_2 = -V_1 \cdot V_2 + V_1 \wedge V_2 \quad (1)$$

En utilisant cette propriété, la réflexion, la projection, la re-jection et la rotation peuvent être exprimées dans l'espace des quaternions [5]. Avec  $q \in \mathbb{P}$ , la symétrie axiale de  $q$  par rapport à un axe  $\mu \in \mathbb{S} \cup \mathbb{P}$  est donnée par  $q_{refl} = -\mu q \mu$ , la projection de  $q$  sur cet axe  $q_{||} = \frac{1}{2}(q + \mu q \mu)$  et la rejection par  $q_{\perp} = \frac{1}{2}(q - \mu q \mu)$ .

## 2.2 Quaternions et images couleur

Si l'on considère l'espace RGB, chaque pixel d'une image  $I$  de taille  $N \times M$  peut être décrit par le quaternion pur suivant, avec  $n \in [1..N]$  et  $m \in [1..M]$  :

$$I(n, m) = 0 + r(n, m)i + g(n, m)j + b(n, m)k \quad (2)$$

Pour un quaternion couleur  $q \in \mathbb{P}$  donné représentant un vecteur de l'espace RGB, les trois composante TSI peuvent être exprimées en utilisant les opérations quaternioniques. Pour un vecteur  $q$ ,  $I$  et  $S$  sont obtenues par la projection et la rejection du vecteur relativement à l'axe achromatique (axe des gris) et la teinte peut être définie par l'angle formé par le vecteur de rejection et un axe de référence  $v$  dans le plan perpendiculaire à  $\mu$  défini par ces deux vecteurs. Ainsi :

$$\begin{cases} H = \tan^{-1} \frac{q - \mu v q v \mu}{q - v q v} \\ S = \left| \frac{1}{2}(q + \mu q \mu) \right| \\ I = \left| \frac{1}{2}(q - \mu q \mu) \right| \end{cases} \quad (3)$$

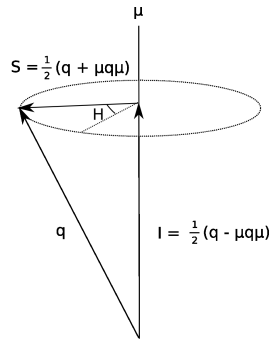


FIG. 1 – Représentation Teinte, Saturation et Intensité

## 2.3 Détecteur de contours quaternionique couleur

Ce détecteur de contours, proposé par Sangwine [4], est basé sur la convolution quaternionique dans une image couleur :

$$\hat{q}(s, t) = \sum_{\tau_1=-n}^n \sum_{\tau_2=-m}^m h_1(\tau_1, \tau_2) q(s - \tau_1, t - \tau_2) h_2(\tau_1, \tau_2) \quad (4)$$

ou  $h_1$  et  $h_2$  sont deux filtres conjugués. A partir de cet opérateur de convolution, un détecteur de contour couleur peut être défini avec deux filtres qui produisent une rotation de  $\pi$  autour

de l'axe achromatique, autrement dit une réflexion axiale, des pixels et les comparent avec le voisinage.

$$h_1 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ Q & Q & Q \end{pmatrix} \quad h_2 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ \bar{Q} & \bar{Q} & \bar{Q} \end{pmatrix} \quad (5)$$

ou  $Q = e^{\mu \frac{\pi}{2}}$  et  $\mu = \frac{i+j+k}{\sqrt{3}}$  est l'axe achromatique. Le résultat de ce filtrage est une image avec une forte dominance grise correspondante aux zones homogènes de l'image considérée. Toutefois, quand un pixel est en opposition avec son voisinage en terme de couleur, le pixel résultant est vecteur couleur, et par conséquent l'arête détectée est colorée.

Sachant que les contours sont colorées et les régions homogènes sont grisées dans l'image filtrée, une façon simple d'extraire les arêtes est d'effectuer un seuillage sur la saturation des pixels filtrés :

$$S = \left| \frac{1}{2}(\hat{q} + \mu_{gray} \hat{q} \mu_{gray}) \right| \quad (6)$$

Cette opération [8] permet de déterminer un gradient couleur en filtrant selon différentes direction : horizontale, verticale et diagonale. La valeur maximum de la saturation obtenue est sélectionné pour définir le gradient à la position du pixel. Toutefois, dans cette méthode, les auteurs ne prennent seulement en compte que la présence d'arête colorées sans tenir compte de cette information couleur. Notre propos est de montrer que cette couleur des arêtes est liée aux propriétés colorimétrique des régions et/ou frontières.

La Fig. 2.(d) montre la teinte des arêtes extraites par le détecteur. Il est clair que toutes les arêtes ne représente les même transitions de couleur entre les zones. Une de nos proposition est de n'extraire qu'un sous-ensemble spécifique d'arêtes associées à certaines transitions de couleur.

## 3 Définition de sous-espace couleur basé sur la teinte

Dans cette section, un critère permettant de définir des sous-espaces couleur est présenté. Etant donné une couleur  $c$ , un axe peut être défini pour réaliser une extraction de ruptures associées à des couleurs particulières. L'information colorimétrique du voisinage est prise en compte isoler des régions ayant une couleur donnée. Considérant une couleur donnée  $c = (r_c, g_c, b_c)$ , un axe  $\mu_{color}$  peut être défini par :

$$\mu_{color} = \left( \frac{r_c}{\sqrt{r_c^2 + g_c^2 + b_c^2}}, \frac{g_c}{\sqrt{r_c^2 + g_c^2 + b_c^2}}, \frac{b_c}{\sqrt{r_c^2 + g_c^2 + b_c^2}} \right)$$

Soit  $\Omega$  le champs de vecteurs représentant l'ensemble de tous les vecteurs de l'image. Un sous-ensemble de vecteurs partageant la même couleur peut-être défini à partir d'un axe colorimétrique. Soit  $H(\mu)$  ce sous-ensemble. Nous avons besoin de définir un sous-ensemble de vecteurs qui sont proches d'un axe  $\mu$  mais qui ne partagent pas nécessairement exactement la



FIG. 2 – Extraction de contours couleur : (a) Image originale (Lena) (b) Détection de contour de Sangwine [4] – zoom sur le bord du chapeau (c) Gradient couleur avec des arêtes colorées. (d) Teinte des arêtes.

même teinte et la même saturation, autrement dit colinéaire à l'axe. La définition de  $H(\mu)$  peut être relâchée en incluant tous les vecteurs  $q$  ayant une distance inférieure à un seuil  $\alpha$ . Soit  $H_\alpha(\mu)$  ce sous-ensemble défini par :

$$H_\alpha(\mu) = \{q \mid |q_\perp| < \alpha\} \quad (7)$$

Un diagramme décrivant ce sous-ensemble est représenté sur la Fig. 3.(a). La valeur de  $\alpha$  peut être pondérée par l'intensité afin d'éviter les fausses détections quand l'intensité est faible  $\alpha' = \alpha \times \frac{I}{\sqrt{3}}$  ou  $I$  est l'intensité du pixel. Ainsi,  $\alpha'$  peut être utilisé dans la définition du sous-ensemble à la place de  $\alpha$ . En effet, l'information couleur d'un vecteur n'est pas significative lorsque  $I$  est faible car cela correspond à une faible valeur de saturation. Un rouge très sombre est presque noir par exemple. Ce sous-ensemble contient toutes les couleurs ayant une teinte dans un intervalle de teinte  $h_\alpha$  et une saturation dans un intervalle de saturation  $s_\alpha$ . L'intensité est bornée par deux intensités  $i_{max}$  et  $i_{min}$  pour éviter les fausses détections des couleurs noires et blanches. La Fig. 3.(b-c). montre une représentation du sous-espace dans le cône TSI.

A cette étape, une classification de tous les pixels peut être calculée sur une image pour séparer les vecteurs des pixels  $q \in H_\alpha(\mu)$  ayant la couleur recherchée et tout autre vecteur  $q \in \Omega - H_\alpha(\mu)$  de l'image. Cette extraction de région est illustrée par la Fig. 4. sur l'image Pills.

Un exemple d'extraction de zones a été réalisé avec un jaune clair (0.80, 0.64, 0.31) et un rouge violacé (0.8, 0.02, 0.12). La valeur de  $\alpha$  est de 0.2 et produit une bonne détection. Les parties respectives jaunes et rouges des pilules sont bien extraites.

Le même critère peut être appliqué à une extraction d'arêtes spécifiques au lieu d'une extraction orientée région. Le but est d'extraire des arêtes associées à des transitions entre une couleur  $q_1 \in H_\alpha(\mu)$  et toutes les autres couleurs  $q_2 \in \Omega - H_\alpha(\mu)$ . Cette sélection d'arêtes peut être faite en comparant les pixels adjacents à ceux des arêtes. La Fig. 5. illustre la sélection d'arêtes entre trois régions. Seules les arêtes entre les régions appartenant à  $H_\alpha(\mu)$  et les autres régions sont sélectionnées. Etant donnée un pixel d'une arête et une direction du gradient, les pixels adjacents  $q_1$  et  $q_2$  sont considérés. Soit  $q_1 \rightarrow q_2$  la transitions entre les deux couleurs associés à  $q_1$  et  $q_2$ . La table 1. résume les trois cas possibles.

Condition	Transition $q_1 \rightarrow q_2$
$ q_1^\perp  +  q_2^\perp  \geq \alpha +  q_2^\perp $	$\Omega - H_\alpha(\mu) \rightarrow \Omega - H_\alpha(\mu)$
$2\alpha <  q_1^\perp  +  q_2^\perp $	$H_\alpha(\mu) \rightarrow \Omega - H_\alpha(\mu)$
$ q_1^\perp  +  q_2^\perp  < \alpha +  q_2^\perp $	$H_\alpha(\mu) \rightarrow H_\alpha(\mu)$
$ q_1^\perp  +  q_2^\perp  \leq 2\alpha$	$H_\alpha(\mu) \rightarrow H_\alpha(\mu)$

TAB. 1 – Les différents groupes de transitions  $q_1 \rightarrow q_2$ .

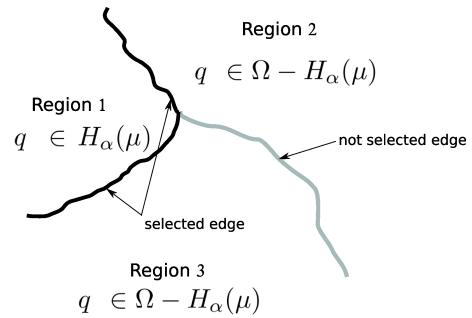


FIG. 5 – Sélection des arêtes.

Considérant cette définition, seules les arêtes du second groupe doivent être sélectionnées pour réaliser la détection spécifique.

Un exemple est donné dans la Fig. 6.(a-d). et illustre la détection avec différentes couleurs sur l'image Pills. Les sections colorées des pilules sont bien délimitées en accord avec la couleur choisie. Ainsi, ce détecteur atteint notre but de détection couleur sélective d'arêtes. Les zones détectées sont presque les mêmes que celles obtenues par extraction de régions, toutefois la qualité de la détection dépend aussi du détecteur de contour global utilisé en amont de la sélection. Ici, Le détecteur quaternionique de Sagnwine est utilisé mais celui-ci peut parfaitement être par d'autres détecteurs couleurs plus performants.

## 4 Conclusion

Dans cet article, une étude sur une extraction spécifique de couleur utilisant les quaternions a été présentée. Un nouveau critère basé sur la représentation quaternionique TSI des vecteurs RGB a été défini. Suivant ce critère, une extraction de zones de couleur spécifique ou de ruptures particulières entre

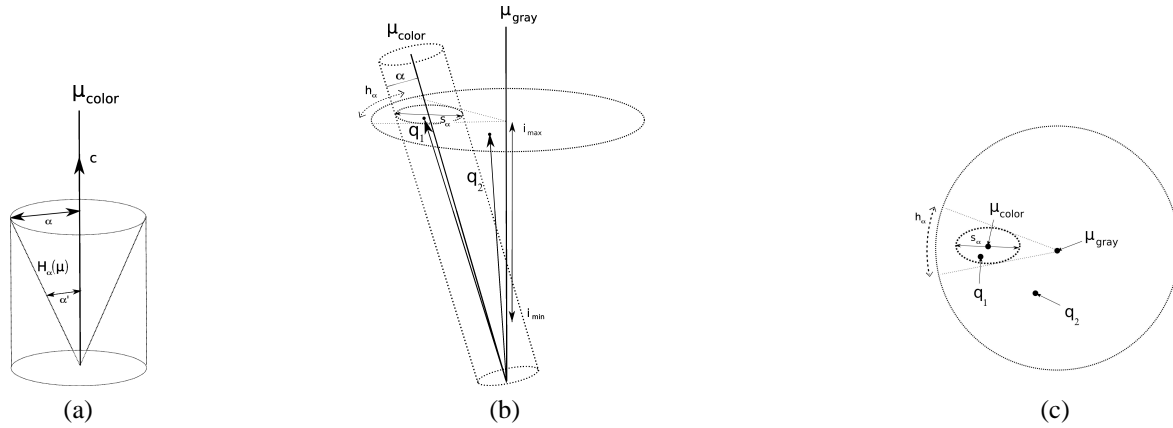


FIG. 3 – (a) sous-ensemble  $H_\alpha(\mu)$  contenant tous les vecteurs ayant une teinte proche de celle de  $\mu$ . (b) Intervalle de teinte  $h_\alpha$  et intervalle de saturation  $s_\alpha$  induits par le sous-ensemble  $H_\alpha(\mu)$  dans la représentation TSI. (c) Vue par le haut du diagramme.

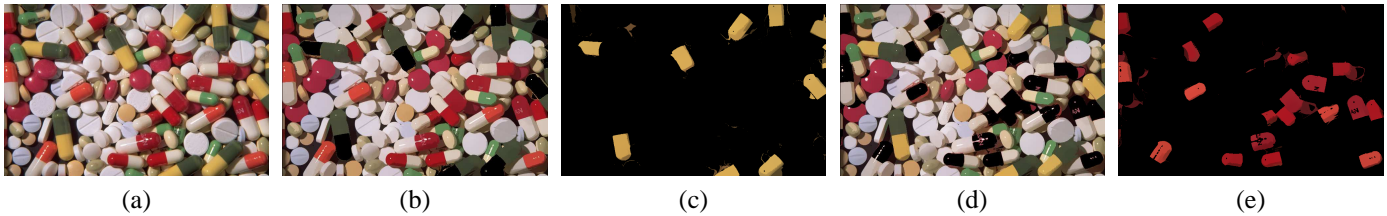


FIG. 4 – Extraction de pixels - (a) Image (b)  $\Omega - H_\alpha(\text{yellow})$  (c)  $H_\alpha(\text{yellow})$  (d)  $\Omega - H_\alpha(\text{red})$  (e)  $H_\alpha(\text{red})$



FIG. 6 – Détecteur d'arêtes avec un (a) jaune, (b) rouge.

zones colorés dans une image est réalisée. Une définition de sous-espace permet de conduire ces deux opérations duales respectivement par une classification couleur et une sélection spécifique d'arêtes. Cette étude optimise la détection couleur en terme de sélection ciblée de couleur. Ce travail donne des résultats prometteurs et permet une détection orientée couleur par le biais d'axes liés à des gammes de couleurs spécifiques. L'utilisation de cette méthode a notamment permis l'analyse en oeuvre d'un traitement visant à extraire des poissons dans une vidéo sous-marines afin de pouvoir mettre en place ultérieurement des opérations de suivi de cibles.

## Références

- [1] DiZenzo S., *A note on the gradient of a multi-image*. Comput. Vision Graph. Image Process., vol. 33, no. 1, pp. 116–125, 1986.
- [2] Cumani A., *Edge detection in multispectral images*. CV-GIP : Graphical Models and Image Processing, vol. 53, no. 1, pp. 40–51, 1991.
- [3] Geusebroek J.-M. and Smeulders A.W., *Color invariance*. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 23, no. 12, 2001.
- [4] Sangwine S.J., *Colour image edge detector based on quaternion convolution*. Electronics Letters, vol. 34, no. 10, pp. 969–971, 1998.
- [5] Sangwine S.J., *Mathematical approaches to linear vector filtering of color images*. Conference on Colour in Graphics, Imaging, and Vision - CGIV 2002, Poitiers - France, 2002, Imaging Science and Technology (IS&T).
- [6] S.J. Sangwine and T.A. Ell, *Vector amplification for color-dependent image filtering*. IEEE International Conference on Image Processing, ICIP 2003, Barcelona - Spain, 2003.
- [7] Sangwine S.J. and Ell T.A., *Colour-sensitive edge detection using hypercomplex filters*. European Signal Processing Conference - EUSIPCO 2000, Tampere - Finland, 2000.
- [8] Denis P., Carré P., and Fernandez-Maloigne C., *Spatial and spectral quaternionic approaches for colour images*. Computer Vision and Image Understanding, no. 107, pp. 74–87, 2007.