

Un indicateur de fausses couleurs pour évaluer le traitement des images couleurs

Ioana VARIAN¹, Patrick LAMBERT¹, Salim BETTAHAR²

¹LISTIC, University of Savoie
P.O.Box 80439-74944 Annecy-le-Vieux, France

²Electronics Department, Electronics and Electrical Engineering Faculty
University of Sciences and Technology of Oran, P.O. Box 1505, El M'Snaouar, Oran, Algeria
patrick.lambert@univ-savoie.fr, salim_bettahar@yahoo.com

Résumé – Dans le cas particulier du filtrage (lissage, rehaussement, etc.) d'images couleurs, les approches proposées peuvent faire apparaître dans l'image résultat des distorsions colorimétriques appelées alors "fausses couleurs", c'est-à-dire des couleurs indésirables non présentes dans l'image initiale. Parmi les nombreux indicateurs permettant d'évaluer les performances d'un filtrage, il n'existe pas actuellement de solution pour évaluer la quantité de fausses couleurs introduites dans l'image résultat. Le travail présenté propose un nouvel indicateur numérique, noté IFC pour Indicateur de Fausses Couleurs, capable de quantifier l'apparition de ces fausses couleurs. Cet indicateur peut être vu comme une mesure de performance du traitement au même titre que le rapport signal sur bruit. Les résultats proposés montrent que l'indicateur construit rend bien compte de la quantité de fausses couleurs introduites dans le résultat d'un filtrage.

Abstract – In the case of color imaging, and more specifically in the pre-processing of color images (denoising, enhancement, etc.), the proposed approaches may generate some chromatic distortions, called "false colors", in the output image. That means undesirable colors which are not in the initial image. Among all the indicators used for filtering evaluation, there is no solution to get a quantified evaluation of this phenomenon. The work which is proposed here aims at building a new numerical indicator, named FCI for False Color Indicator, which is able to measure the amount of false colors provided by the processing. This indicator can be regarded as a processing quality measure like PSNR. Proposed results show that this indicator fits well with the amount of false colors.

1 Introduction

1.1 Contexte

Depuis les débuts du traitement des images numériques, de très nombreuses approches ont été proposées pour pré-traiter les images, en particulier pour réduire le bruit et rehausser les contours. Ces méthodologies, d'abord mises en place dans le cas des images mono-composantes, ont ensuite été étendues au cas des images mutli-composantes, en particulier dans le cas des images couleur [1]. Ce passage d'une à plusieurs composantes peut se faire de manière simple en utilisant une approche **marginale** (chaque composante est traitée séparément en utilisant un traitement mono-composante) ou de manière plus élaborée en définissant un traitement dit **vectorel** traitant simultanément les différentes composantes, et permettant ainsi de prendre en compte l'éventuelle corrélation entre composantes. En parallèle à la mise en place de toutes ces approches, un certain nombre d'indicateurs ont été construits pour pouvoir rendre compte des performances obtenues (MSE, PSNR, SSIM, etc.) [2],[3]. On peut noter au passage que la littérature ne fournit pas beaucoup d'indicateurs spécifiques au cas des images mutli-composantes, la tendance étant plutôt d'étendre, de manière souvent simple, les indicateurs définis dans le cas

des images scalaires. Ainsi l'erreur quadratique moyenne dans le cas d'image multi-composantes est souvent calculée comme la moyenne des erreurs mesurées sur chaque composante.

Dans le domaine du traitement d'images multi-composantes, le cas de la couleur occupe une place particulière liée en grande partie à la perception humaine de la couleur. De très nombreux travaux ont été et continuent à être proposés pour pré-traiter les images couleur. Citons par exemple [4], [5], [6], [7] ou [8]. Un certain nombre des méthodes proposées exploitent la nature spécifique de la couleur et se font après transfert dans un espace couleur spécifique (espace "uniforme" tel que CIE-Lab ou espace "perceptuel" tel que HSV) de manière à mieux rendre compte des différences de couleur, de la notion de teinte, etc. ([9][10]). Les indicateurs mesurant les performances de ces traitements sont encore des extensions simples des indicateurs classiques. Ainsi l'erreur quadratique moyenne est souvent calculée sur la seule composante de Luminance.

Ces traitements couleur, malgré de bonnes performances en termes de lissage ou de rehaussement, peuvent cependant faire apparaître des distorsions colorimétriques, appelés "fausses couleurs". Le travail présenté ici a pour objectif d'analyser et de quantifier ce phénomène de fausses couleurs.

1.2 Les fausses couleurs

1.2.1 Exemple de fausses couleurs

La figure 1-a présente le résultat d'une ouverture morphologique (élément structurant 11×11) et d'un filtrage médian réalisés de manière marginale sur chaque composante R, V et B d'une image couleur. Deux éléments principaux ressortent de l'observation de ce résultat : d'abord la simplification de l'image, intrinsèque à la nature des filtrages, et ensuite l'apparition, dans le résultat de l'ouverture essentiellement, d'une couleur verte qui n'est pas une des couleurs de l'image initiale et que l'on qualifie de fausse couleur. L'exemple, choisi intentionnellement pour accentuer le phénomène, illustre le problème rencontré : l'image résultat, même si elle présente les qualités de simplification recherchées, peut contenir des couleurs indésirables qui gênent la perception visuelle de l'utilisateur et qui peuvent également fausser des traitements ultérieurs (un histogramme couleur comptabilisera du vert). Le résultat du médian marginal est donné à titre de comparaison et pour montrer que ce phénomène n'est pas systématique.

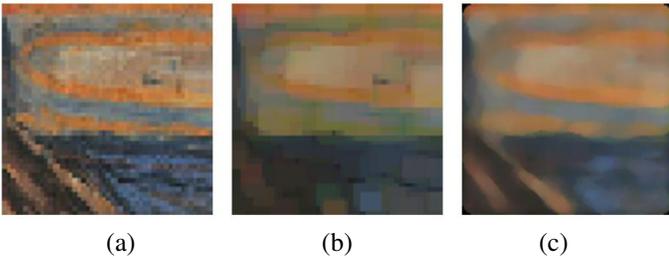


FIG. 1: *Fausses couleurs : (a) image initiale (b) résultat d'une ouverture morphologique marginale (c) résultat d'un filtrage médian marginal - taille 11×11 .*

1.2.2 Mécanisme de génération de fausses couleurs

Le principe du filtrage d'une image consiste à remplacer la caractéristique radiométrique d'un pixel par une nouvelle valeur permettant de mieux rendre compte de l'information contenue dans l'image. Dans le cas des images couleur, il existe des situations particulières, liées à la fois à la nature du filtrage et à la configuration des radiométries des pixels filtrés, qui peuvent faire apparaître ce phénomène de fausses couleurs. On peut noter que ce phénomène est en général plus sensible dans les approches marginales que dans les approches vectorielles.

La figure 2 donne un exemple du mécanisme de génération de fausses couleurs dans le cas simple d'une dilatation morphologique marginale 3×1 . Le triplet de pixel Rouge, Vert et Bleu donne naissance, après filtrage, à un pixel Blanc.

1.2.3 Mesure des fausses couleurs: état de l'art

Si un certain nombre de travaux évoquent le problème des fausses couleurs ([11]), peu abordent la quantification de ce

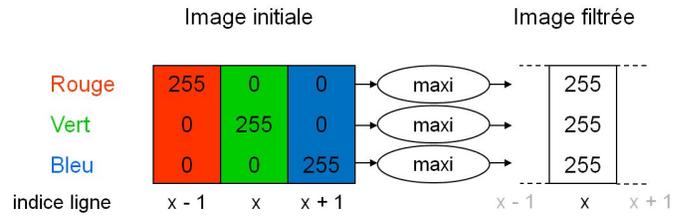


FIG. 2: *Illustration du mécanisme de génération de fausses couleurs*

phénomène. Des approches voisines sont utilisées pour mesurer la qualité d'une image (en particulier après une compression ou un démosaïcage [12]), mais elles ne sont pas directement transposables au cas du filtrage. Dans [13], les auteurs proposent même un indicateur mesurant le taux de fausses couleurs après démosaïcage, mais la mesure est basée sur une distance couleur entre pixels de même position dans l'image initiale et l'image traitée, et cette approche ne peut donc convenir pour des filtrages spatiaux. A notre connaissance, aucun indicateur n'a été proposé pour évaluer l'apparition de fausses couleurs dans le cas du filtrage 2D.

2 Un indicateur de fausses couleurs

2.1 Contraintes

La construction de cet indicateur doit respecter trois contraintes principales :

- ✓ avoir la capacité de détecter une nouvelle couleur dans l'image filtrée, en tenant compte du fait que la fausse couleur créée dans la zone de filtrage peut être une vraie couleur de l'image dans une autre zone ;
- ✓ savoir détecter de vraies fausses couleurs, c'est-à-dire des couleurs qui n'existent pas dans la zone de filtrage de l'image initiale, et qui sont perceptuellement différentes de ces couleurs ;
- ✓ mesurer la quantité de fausses couleurs sur l'ensemble de l'image, sachant que ce phénomène touche un nombre limité de pixels.

2.2 Définition

En fonction de ces contraintes, voici la mesure proposée :

Étape 1 : Dans un premier temps, pour un pixel particulier (noté p) de l'image filtrée, on mesure la capacité de ce pixel à être, localement, une fausse couleur. La mesure, notée $IFC(p)$, est définie par :

$$IFC(p) = \min_{q \in W_p} (DistCouleur(I_{filt}(p), I_{init}(q))) \quad (1)$$

où I_{filt} désigne l'image filtrée, I_{init} l'image initiale, W_p un voisinage de p (typiquement de même taille et forme que le voisinage utilisé pour le filtrage), q un pixel de W_p dans l'image

initiale et $DistCouleur(.,.)$ une distance couleur. Cette formulation s'explique de la manière suivante. Pour un pixel p de l'image filtrée, on calcule sa distance couleur avec des pixels spatialement voisins de l'image initiale. Si le pixel p correspond à une fausse couleur, toutes ces distances seront importantes et le minimum gardera aussi une valeur importante. Au contraire, si ce pixel a une couleur proche d'au moins une des couleurs des pixels de l'image initiale, au moins une de ces distances sera faible. Et l'utilisation de l'opérateur min assure alors que la mesure $IFC(p)$ en ce pixel sera faible. Il est à noter que cet opérateur est asymétrique, c'est-à-dire que la mesure se fait depuis un pixel de l'image filtrée vers un ensemble de pixels de l'image initiale.

Étape 2 : Dans un deuxième temps, il faut s'assurer que l'indicateur $IFC(p)$, potentiellement capable de détecter une fausse couleur sur le pixel p , correspond réellement à une fausse couleur. Pour cela il suffit juste de vérifier que la valeur de $IFC(p)$ est supérieure à un seuil. La valeur de ce seuil traduit la limite à partir de laquelle un œil humain considérera les couleurs de deux pixels comme vraiment différentes. Ce seuil est en partie subjectif et sa valeur numérique dépendra aussi de la fonction $DistCouleur(.,.)$ utilisée. L'utilisation faite de ce seuil (Th) est alors :

$$Si \quad IFC(p) < Th \quad Alors \quad IFC(p) = 0 \quad (2)$$

Étape 3 : Enfin, dans un troisième temps, cette mesure doit être intégrée sur l'ensemble de l'image. La solution consistant à faire la moyenne des valeurs $IFC(p)$ ne serait pas significative car les fausses couleurs sont des phénomènes peu fréquents. La plus grande des valeurs ($max_{p \in I_{filt}}(FCI(p))$) est une bonne indication, mais n'intègre qu'une seule fausse couleur ce qui ne peut convenir pour l'évaluation globale d'un traitement. Aussi la solution retenue est :

$$IFC = 1/K \sum_{k=1}^K IFC_{(k)} \quad (3)$$

où $IFC_{(1)} \leq IFC_{(2)} \leq \dots \leq IFC_{(K)}$, $IFC_{(1)}$ étant la plus grande des valeurs $IFC(p)$ de l'image filtrée. L'idée est de faire la moyenne sur les K valeurs les plus significatives, K étant un paramètre dépendant du filtre utilisé et ajusté empiriquement.

Cet indicateur est non normalisé et croît avec la quantité de fausses couleurs mesurée.

3 Expérimentations

3.1 Réglage et test du fonctionnement

La mise en place de cet indicateur nécessite le réglage de plusieurs paramètres.

✓La taille de la fenêtre de mesure (voir eq. 1, notée S dans la suite). Comme cela a déjà été dit, cette taille doit être du même

ordre de grandeur que la taille de la fenêtre du filtrage que l'on caractérise.

✓La distance couleur (voir eq. 1). Compte tenu du type de mesure effectuée, il faut une distance qui soit en cohérence avec la perception humaine. Dans les expérimentations qui suivent, nous avons utilisé la distance de Manhattan dans l'espace Lab, espace permettant des mesures de distances couleurs proches de la perception humaine. Des essais avec les espaces RGB et HSV ont confirmé, de manière subjective, la pertinence de ce choix, mais bien d'autres distances pourraient être utilisées.

✓Le seuil de prise en compte des fausses couleurs (noté Th dans eq. 2). Le choix de ce paramètre est critique. Il correspond à la valeur à partir de laquelle on considère qu'une couleur apparaît comme suffisamment différente des couleurs initiales pour être considérée comme une fausse couleur. Le choix de cette valeur est donc lié à la perception des couleurs. Dans la suite nous verrons que des valeurs situées entre 20 et 40 donne des résultats cohérents.

✓Le nombre de fausses couleurs pris en compte dans le calcul de l'indicateur IFC (noté K dans eq. 3). Ce paramètre n'est pas très sensible et doit prendre une valeur compatible avec la taille de l'image. Son réglage reste empirique (valeurs typiques de 10 à 50 pour des images 200x200).

L'indicateur proposé a été testé sur les images de la figure 1. Sur ces images on constate clairement que l'ouverture morphologique marginale génère plus de fausses couleurs que le filtrage médian marginal. Les réglages utilisés sont les suivants : $S = 11 \times 11$, $Th = 25$, $K = 10$. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 1.

On peut constater que les mesures confirment l'impression visuelle : valeurs de IFC plus importantes pour l'ouverture morphologique que pour le filtrage médian.

TAB. 1: Indicateur de fausses couleurs (IFC).

espace couleur	ouv. marg.	méd. marg.
RVB	71.3	40.5
Lab	45.7	10.7

3.2 Utilisation pour comparer plusieurs filtres

Nous avons utilisé cet indicateur pour comparer six filtres basés sur des approches EDP effectuant conjointement lissage et rehaussement. Le détail du fonctionnement de ces filtres est donné dans [8]. La figure 3 présente le résultat de l'application de ces six filtres. On constate qu'un certain nombre de ces filtres produisent des fausses couleurs.

Le tableau 2 donne les mesures numériques obtenues avec l'indicateur proposé. Les distances sont mesurées dans l'espace Lab. Différents jeux des paramètres S et Th ont été envisagés.

On constate que l'indicateur permet de bien mettre en évidence l'importance de l'apparition des fausses couleurs. En particulier, on note une valeur faible de l'indicateur pour la méthode "Bettahar vect." qui produit peu de fausses couleurs alors

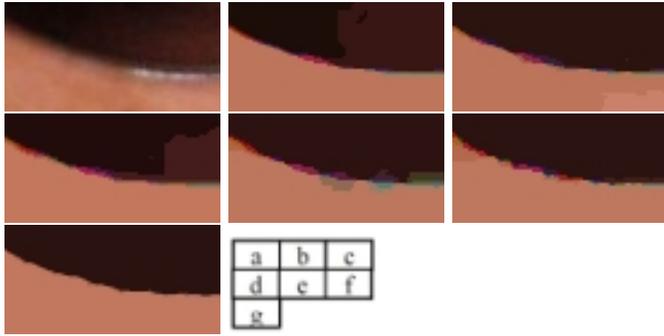


FIG. 3: Résultats de filtrages

TAB. 2: Indicateur de fausses couleurs (IFC) pour différentes valeurs du seuil Th et avec $S = 7 \times 7$, $K = 20$.

Filtres	S= 20 Th=20	S=20 Th=40	S=10 Th=20	S=10 Th=40
Alvarez (b)	50.5	50.5	57.9	57.9
Kornprobst (c)	54.9	54.9	60.7	60.7
Gilboa (d)	50.5	50.5	55.1	55.1
Fu (e)	56.2	56.2	60.1	60.1
Bettahar marg. (f)	66.2	66.2	76.8	76.8
Bettahat vect. (g)	35.9	0	38.2	0

que les autres méthodes, toutes marginales, produisent beaucoup plus de fausses couleurs. On peut également noter que l'indicateur donne des valeurs plus fortes pour les méthodes "Bettahar marg." et "Fu" qui, visuellement, introduisent beaucoup de fausses couleurs.

La variation (passage de 20 à 40) du seuil Th de détection des fausses couleurs n'apporte pas de modifications des valeurs de l'indicateur, sauf pour la méthode "Bettahar Vect." pour laquelle l'indicateur passe à 0. Cela signifie que les fausses couleurs introduites par ce filtre correspondant à des écarts compris entre 20 et 40, alors que pour tous les autres filtres ces écarts sont supérieurs à 40.

Lorsque l'on fait varier le nombre de fausses couleurs prises en compte dans la mesure de IFC (passage de S de 20 à 10), l'indicateur augmente. Ce résultat est conforme puisque l'on élimine ainsi dans le calcul de IFC les 10 valeurs les plus faibles parmi les 20 valeurs initialement sélectionnées. On peut également constater que la hiérarchie est légèrement modifiée par cette variation de S .

4 Conclusion

L'indicateur que nous avons proposé permet de quantifier de manière efficace la quantité de "fausses couleurs" générées par lors du traitement d'une image couleur. Les premières études réalisées ont permis de montrer sa capacité à comparer différentes méthodes de filtrage. Son utilisation nécessite le réglage (peu critique) de trois paramètres, ce qui donne à ce critère une certaine facilité d'emploi. Parmi les pistes d'amélioration,

l'utilisation de tests psychovisuels permettraient de vérifier l'adéquation des valeurs obtenues avec la perception humaine. Dans le prolongement de cette étude, il serait alors envisageable de donner une description symbolique de cet indicateur évitant ainsi d'avoir des valeurs non normalisées.

Références

- [1] A. Trémeau, C. Fernandez-Maloigne, P. Bonton. *Image numérique couleur : De l'acquisition au traitement*. Dunod, 2004.
- [2] Z. Wang, A.C. Bovik. *Mean Squared Error: Love it or leave it?*. IEEE Signal Processing Magazine, Vol. 26, No. 1. (2009), pp. 98-117.
- [3] Z. Wang, A.C. Bovik, H.R. Sheikh, E.P. Simoncelli. *Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity*. IEEE Tr. on Image Processing, vol. 13, no. 4, pp. 600-612, 2004.
- [4] J. Weickert. *Coherence-enhancing diffusion of colour images*. Image Vision Comput., vol. 17, no. 3-4, pp. 199-210, 1999.
- [5] D. Tschumperlé. *Fast Anisotropic Smoothing of Multi-Valued Images using Curvature-Preserving PDE's*. Int. J. Comput. Vision, vol. 68, no. 1, pp. 65-82, 2006.
- [6] N-X. Lian, V. Zagorodnov, Y-P. Tan. *Edge-Preserving Image Denoising via Optimal Color Space Projection*. IEEE Tr. on Image Proc., vol. 15, pp. 2575-2587, 2006.
- [7] R. Lukac, B. Smolka, K. Martin, K.N. Plataniotis, A.N. Venetsanopoulos. *Vector filtering for color imaging*. Signal Process. Mag. 22 (1), 2005, pp. 74-86.
- [8] S. Bettahar, A.B Stambouli, P. Lambert, A. Benoit. *PDE Based Enhancement of Color Images in RGB Space*. IEEE Tr. on Image Proc., 21 (5), pp. 2500-2512, 2012.
- [9] C. Tomasi, R. Manduchi. *Bilateral Filtering for Gray and Color Images*. Proceedings of the Sixth International Conference on Computer Vision, pp. 839-, 1998.
- [10] L. Jin, D. Li. *A switching vector median filter based on the {CIELAB} color space for color image restoration*. Signal Processing 87 (6), 2007, pp. 1345-1354.
- [11] W. Burger. *Color Space Considerations for Linear Image Filtering*. Proc. 34th Workshop of the Austrian Ass. for Pattern Recognition, Zwettl, Austria, pp. 163-170, 2010.
- [12] F. De Simone, D. Ticca, F. Dufaux, M. Ansorge, T. Ebrahimi. *A comparative study of color image compression standards using perceptually driven quality metrics*. SPIE Optics and Photonics, Applications of Digital Image Processing XXXI (Aug. 2008).
- [13] Y. Yang, O. Losson, L. Duvieubourg. *Quality Evaluation of Color Demosaicing According to Image Resolution*. Proceedings of the 2007 Third International IEEE Conference on Signal-Image Technologies and Internet-Based System, 2007, pp. 689-695.