Cari 2008+ 22/08/08 17:11 Page 111

Vers une métrique de description objective d'une sensation subjective

Sonia Ouni[1,2], Ezzeddine Zagrouba[1], Majed Chambah[2], Michel Herbin[2]

[1] Equipe de recherche URSIIVA, Institut Supérieur Informatique de Tunis
Abou Raihane Bayrouni 2080, Ariana, TUNISIA
[2] CReSTIC, Université de Reims Champagne Ardenne
Rue des crayères BP 1035 51687 REIMS Cedex 2

sonia.ouni@etudiant.univ-reims.fr / ezzeddine.zagrouba@fsm.rnu.tn
majed.chambah@univ-reims.fr / michel.herbin@univ-reims.fr

RÉSUMÉ. L'étude du système visuel Humain (SVH) est primordiale pour quantifier la qualité d'une image. Plusieurs travaux ont proposé des métriques de différences de couleurs qui effectuent des différences locales pixel par pixel. Par contre, le système visuel humain est plutôt sensible à une qualité globale. Dans cet article, nous proposons une nouvelle métrique objective de différence couleur basée sur les caractéristiques du système visuel humain. La métrique proposé est appelée *Delta E Globale* notée : $\widetilde{\Delta E}_G$. Quelques expérimentations et évaluations montrent la performance de cette métrique et sa corrélation avec la vision du SVH.

ABSTRACT. In the last decade, several image and video quality metrics have been proposed, which incorporate perceptual quality measures by considering the HVS characteristics. All this metrics do the differences pixel to pixel in image. Therefore a local fidelity of the colour is defined. However, the human visual system is rather sensitive to a global quality. In this paper, we propose a new objective full reference quality metric for colour images called *Global Delta E* and noted: $\widetilde{\Delta E}_G$. This metric is based on human visual system properties in order to obtain the best correspondence with judgments. Some experimentations and assessments prove the performance of our metrics and that interrelationship with the SVH.

MOTS-CLÉS : système visuel Humain, différence couleur, qualité, Delta E globale.

KEYWORDS: Human Visual System, colour difference, Quality, Global Delta E.

1. Introduction

La télévision, internet, le DVD mais aussi les services téléphonie mobile ou les systèmes multimédias sont autant d'exemples d'applications pour lesquelles des techniques de traitement d'images sont développées. D'où l'intérêt d'évaluer la qualité des images numériques afin d'être en mesure d'estimer l'efficacité des méthodes développées.

La mesure de la qualité visuelle des images ou de la vidéo s'avère très utile dans plusieurs applications en imagerie : codage [1][12][19], restauration[8], imagerie médicale [11]. Les méthodes développées dans ces domaines peuvent être classées en deux grandes approches. La première, appelée classiquement évaluation subjective, est basée sur l'utilisation d'un groupe d'observateurs humains qui doivent noter la qualité des images dans les conditions d'observation appropriées [16]. Cette approche reste la plus utilisée et la plus efficace dans la plupart des domaines, comme la qualité d'impression, la compression et la restauration des films cinématographiques , mais dernière est complexe et chronophage.

La deuxième approche est l'évaluation objective qui utilise des mesures pour quantifier la qualité des images. Puisqu'elle est automatisée, l'évaluation objective est moins coûteuse que l'évaluation subjective. De plus, elle peut être effectuée en temps réel puisqu'elle ne nécessite pas d'interaction avec l'utilisateur. L'évaluation objective de la qualité peut se décliner en trois catégories, celles qui sont à référence totale (utilisation complète de l'image originale), appelées aussi « Full Reference », celles qui utilisent quelques paramètres de la référence, appelées aussi « Reduced Reference » ou méthodes à référence réduite [17] et celles qui n'utilisent aucune référence [18]. Les méthodes «Reduced Reference » sont souvent utilisées dans le cadre de la transmission des images. Les méthodes « Sans Référence » se basent sur la connaissance a priori de la nature des dégradations ou/et des images. Les méthodes sans référence et avec référence réduite ne feront pas l'objet de cet article.

Dans l'approche avec référence complète, plusieurs études ont donc tenté de proposer une méthode de calcul de différences de couleurs qui prennent en compte la perception des couleurs. Le problème est que ces mesures effectuent des différences pixel à pixel pour définir une fidélité locale de la couleur. Or, le système visuel humain est plutôt sensible à une qualité globale.

Dans ce papier, nous proposons une nouvelle métrique qui prend en considération les caractéristiques du système visuel humain. La mesure proposée se place dans l'hypothèse des méthodes avec référence complète : nous nous plaçons dans le cadre de l'usage des images numériques codées ou restaurées. Notre préoccupation est d'être le plus indépendant possible de la méthode du traitement utilisée, de surmonter le problème de la mesure des dégradations localisées et concentrées, d'être indépendant du type d'image et de se rapprocher de la perception du système visuel humain.

L'originalité de cette métrique objective est la prise en compte de la vision globale de l'image.
La suite de ce papier est organisée comme suit : la section 2 est dédiée aux métriques de différence de couleur. Les détails de la métrique proposée sont donnés dans la section 3. Dans la section 4, nous validons notre approche par quelques expérimentations et évaluations. Enfin, nous terminerons par une conclusion et des perspectives.

2. Métriques de différence de couleur

Dans la littérature, de nombreux travaux ont tenté de proposer une méthode de calcul de différences de couleurs qui prennent en compte la perception des couleurs [2].
Le modèle de couleur CIE L*a*b* étant proche de notre perception visuelle, la mesure des différences chromatiques visuelles revient à mesurer des distances euclidiennes entre couleurs dans ce modèle. Le Delta E [6] est la formule de mesure des distances « perceptuelles» entre deux couleurs.

$$\Delta E^* = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad (1)$$

En 1976, McLaren [7] introduit des facteurs de pondération pour chaque composante dans sa formule de différence de couleurs. McLaren combine l'équation proposée par Mc-Donald [14] qui simplifie l'équation complexe de différence de couleurs en donnant deux fois plus de poids à l'information de teinte par rapport aux informations de luminance et de chromaticité. L'équation obtenue pour la différence de couleurs est la suivante :

$$\Delta E_{(MC)^2} = \sqrt{\frac{(\Delta L)^2 + (\Delta C)^2 + (2\Delta H)^2}{1 + 0.02C}} \quad (2)$$

En 1979, McDonald propose d'utiliser des facteurs non linéaires dans les équations de différences pour donner la formule ΔE_{JPC79}. Des facteurs de pondération sont appliqués sur la différence de luminance (SL), de chromaticité (SC) et de teinte (SH). La métrique résultante est donnée par l'équation (3), où L, C et h sont calcules a partir des formules de Adams- Nickerson [3] :

$$\Delta E_{JPC97} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L}{S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C_{ab}}{S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H_{ab}}{S_H}\right)^2} \quad (3)$$

Dans cette équation S_L dépend de L, S_C dépend de C et S_H dépend de h.
En 1984, Clarke et al. [5][13] proposent l'équation de différence de couleur CMC(l :c) basée sur le JPC79. Deux facteurs de pondération supplémentaires (l et c) sont choisis en fonction de la matière réfléchissant la lumière. L'équation de différence s'écrit alors :

$$\Delta E_{CMC(l:c)} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L}{lS_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C_{ab}}{cS_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H_{ab}}{S_H}\right)^2} \quad (4)$$

En 1987, Luo et Rigg [9] ont défini l'équation de différence de couleur $\Delta E_{BFD(1:c)}$ pour corriger les défauts de l'équation CMC(l:c) dans le bleu. En 1994, la Comité Internationale d'Eclairage (CIE) préconise l'utilisation d'une nouvelle équation pour les différences de couleurs basée sur les travaux de Berns et al. [15]. La formulation de cette équation est similaire à la structure CMC(l :c) avec des facteurs de pondération simplifiés :

$$\Delta E_{94} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L^*_{ab}}{K_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C^*_{ab}}{K_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H^*_{ab}}{K_H S_H}\right)^2} \quad (5)$$

où K_L, K_C et K_H sont des facteurs de pondération dépendant des conditions expérimentales. La CIE recommande de fixer tous les facteurs de pondération à 1, sauf pour les applications de l'industrie textile.

En 1999, Kim et Nobbs [4] proposent une étude sur la luminance, la chromaticité et la teinte basée sur l'équation ΔE_{94}. Ils ont mis en évidence que la tolérance de cette formule pour des luminosités faibles ou importantes est plus grande que pour des luminosités moyennes. Le facteur de pondération S_L dans la formule ΔE_{94} se révèle donc insuffisant pour décrire ce phénomène. De plus, ils mettent en évidence l'insuffisance des critères de pondération S_C et S_H pour décrire les phénomènes sur la chromaticité.

En 2000, la CIE propose une dernière équation pour le calcul de différence de couleurs basée sur les travaux de Luo et al. [10]. Comparée à l'équation ΔE_{94}, la formulation ΔE_{2000} est plus complexe, mais elle donne de meilleurs résultats. La méthode se décompose en quatre étapes à partir des valeurs CIE $L^*a^*b^*$:

$$\Delta E_{2000} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L}{S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C}{S_C}\right)^2 + R_t\left(\frac{\Delta C'}{S_C} \times \frac{\Delta H'}{S_H}\right)^2} \quad (6)$$

A l'heure actuelle, un groupe de travail de la CIE cherche encore à améliorer cette formule pour une meilleure prise en compte des différents phénomènes de l'apparence couleur. Les relations de distances proposées effectuent des calculs locaux dans une image. Il est donc intéressant d'introduire, en amont dans les calculs de différences, les caractéristiques du système visuel humain, pour aboutir à une métrique plus proche de la réalité visuelle.

3. Vers une description objective d'une sensation subjective

Les performances d'un critère objectif de qualité d'image s'estiment par sa capacité à produire une mesure de qualité aussi proche que possible de celle du jugement humain. Une des caractéristiques importantes du SVH est la vision globale de l'image. Dans

cette métrique, nous allons modéliser cette sensation subjective par une description objective.
Le modèle utilisé dans cette métrique de qualité est décrit dans la Figure 1. Il repose tout d'abord sur une transformation du triplet (R,V,B) dans l'espace uniforme XYZ, ensuite dans l'espace $L^*a^*b^*$ et ceci pour calculer la différence entre un pixel de l'image originale et un pixel de l'image dégradée.

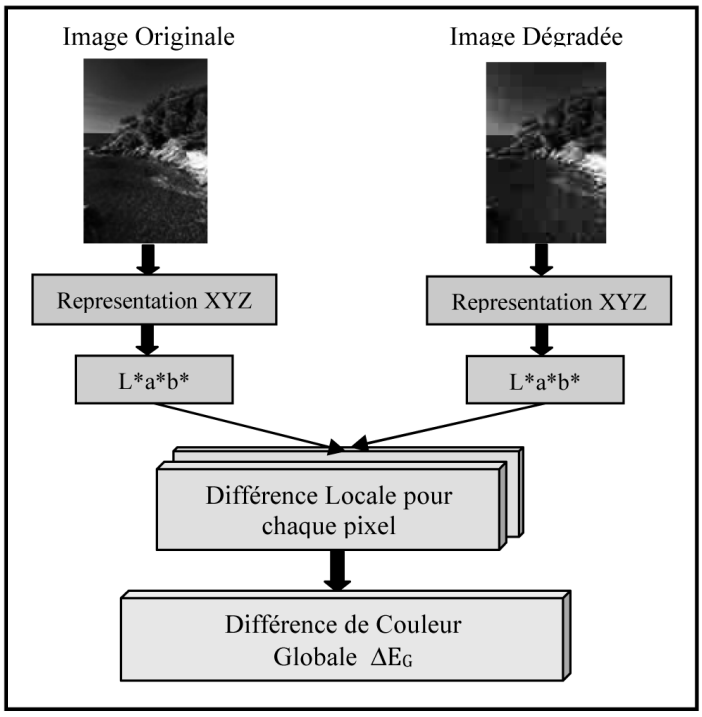

Figure 1. *Modèle proposé.*

Soit $X = \{x_{i,j} \mid i = 1, \ldots, M; j = 1, \ldots, N\}$ et $Y = \{y_{i,j} \mid i = 1, \ldots, M; j = 1, \ldots, N\}$ respectivement l'ensemble des pixels de l'image originale et ceux de l'image dégradée. Le calcul de la distance est réalisé par notre nouvelle métrique est définie comme suit :

$$\Delta\tilde{E}(i,j) = \frac{\Delta E(i,j) + \sum_{k=1}^{N}\sum_{l=1}^{M} P(k,l)\,\Delta E(k,l)}{1 + \sum_{k=1}^{N}\sum_{l=1}^{M} P(k,l)} \qquad \begin{array}{l} avec\ k \in [1..N],\ l \in [1..M] \\ et\ k \neq i \text{ et } l \neq j \end{array} \tag{7}$$

Dans cette distance on introduit la notion de voisinage. L'influence des pixels voisins dans le calcul de $\Delta\tilde{E}(i,j)$ s'attenue en fonction de leurs éloignements. Cela est réalisé avec la pondération *P*.

$$P(k,l) = \frac{1}{d^2((k,l),(i,j))} \text{ avec } l \neq i \text{ et } k \neq j \tag{8}$$

avec *d* est la distance entre les pixels. Enfin la distance globale entre les deux images est définie comme suit :

$$\Delta\widetilde{E}_G = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{M} \Delta\widetilde{E}(i,j) \quad (9)$$

Cette métrique fait intervenir la notion d'adjacence dans le calcul de différence de couleur ceci permet de traduire une sensation subjective du SVH qui est la vision globale de l'image.

4. Expérimentations

Dans cette section, nous présentons nos expérimentations afin de mettre en œuvre l'efficacité de la métrique proposée. Pour ce faire, nous avons utilisé un ensemble d'images représentons des paysages réels et nous avons choisi comme type de dégradation la compression JPEG2000.

Comme le montre la figure 3, l'écart ΔE_{2000} moyen entre l'image originale et sa version compressée (figure 2-b) est plus important que l'écart entre cette même image et une version ou un élément du contenu a subi une modification de teinte significative (figure 2-c). Or, le système visuel humain est plus sensible à la modification de la couleur d'un élément de l'image. Cependant avec la métrique proposée ΔE_G nous obtenons un écart plus important avec l'image modifiée plus que l'image compressée. Ceci montre que notre métrique corrèle bien avec la vision de l'être humain.

(a) Image originale | (b) $\Delta E_{2000} = 5.29$, $\Delta E_G = 6.42$ | (c) $\Delta E_{2000} = 4.61$, $\Delta E_G = 16.33$

Figure 2. *Exemple de mesures de différence en utilisant la métrique ΔE_{2000} et ΔE_G entre une image originale et deux versions modifiées : une compression JPEG(b) et une modification de couleur sur une pomme de l'image(c).*

La figure 3, confirme l'efficacité de notre métrique qui permet d'obtenir des résultats meilleurs que le ΔE_{2000}. Visuellement on remarque que l'écart entre l'image originale et les images modifiée (c) et (d) est plus élève que cette même image et sa version compressée ce qui est le cas pour notre métrique ΔE_G contrairement à ΔE_{2000}.

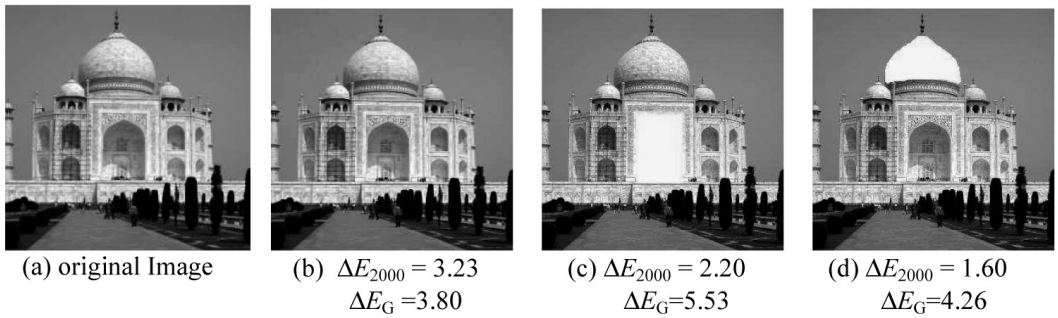

Figure 3. *Exemple de mesure de différence en utilisant la métrique ΔE_{2000} et ΔE_G entre une image originale et deux versions modifiées : une compression JPEG(b) et une modification de couleur sur une partie de l'image(c) et (d).*

La figure 4, illustre une comparaison de l'erreur mesurée due à la compression. Cette figure permet de comparer notre approche ΔE_G avec le ΔE_{2000}.

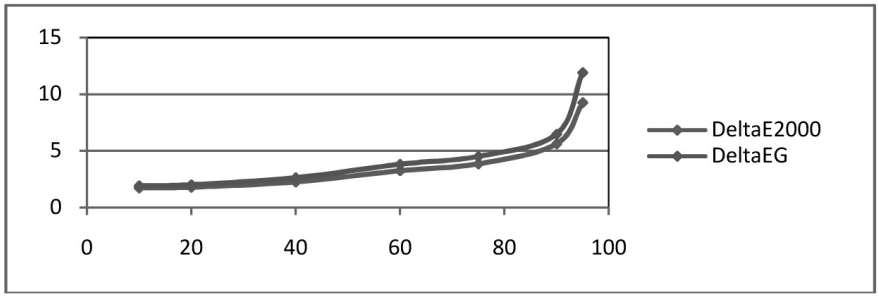

Figure 4. *Mesures de fidélité pour différents taux de compression*

Nous remarquons que pour différents taux de dégradation de compression notre métrique ΔE_G permet produit des résultats meilleurs que le ΔE_{2000}.

4. Conclusion

Dans ce papier, nous avons présenté une métrique de différence couleur basée sur une nouvelle approche pour simuler une partie des propriétés du SVH qui est la vision globale de l'image et non locale. L'originalité se trouve dans l'intégration de cette caractéristique et dans la réalisation d'une modélisation objective d'une sensation subjective. Cette étude a été basée sur des procédures d'évaluation objectives et subjectives prenant en compte la perception humaine. Les résultats obtenus sont très encourageants et ouvrent une voie prometteuse pour l'estimation de la qualité d'image couleur.

5. Bibliographie

[1] A.Tamtaoui, D. Aboutajdine. Mesure de la qualité visuelle des images compressées. *Traitement du Signal 2003*, 20(1).

[2] CIE. *Methods to derive colour differences for images*. Technical report. CIE, 2000.

[3] D. Nickerson. Munsell renotations used to study color spaces of hunter and adams. *Journal ofoptic al society ofameric a*, 40(2):85–88, 1950.

[4] D.-H. Kim and J. H. Nobbs. New weighting functions for weighted CIELAB colour difference formulae. 446–449, Kyoto, 1997.

[5] F.J.J. Clarke, R. McDonald, and D. Rigg. Modification to the JPC 79 colour difference formula. *Journal of Society of Dyers Colour*, 100(4) : 128–132, 1984.

[6] Hill, B., Roger, T., and Vorhagen, F. W.. Comparative analysis of the quantization of color spaces on the basis of the CIELAB color-difference formula. *ACM Trans. Graph.* 16(2): 109-154, 1997.

[7] K. McLaren. An introduction to instrumental shade passing and sorting and a review of recent developments. *Journal of Society of Dyers Colour*, 92(9):317–326, 1976.

[8] M. Chambah, A. Rizzi, C. Saint Jean, "Image quality and automatic color equalization", *SPIE/IS&T Electronic Imaging 2007*, San Jose, California (USA).

[9] M.R. Luo and B. Rigg. BDF(l :c) colour difference formula. Part 2 – performance of the formula. *Journal of Society of Dyers Colour*, 103(3) :126–132, 1987.

[10] M.R. Luo, G. Cui, and B. Rigg. Derivation of a rotation fuction for the new CIE colour difference formula. *Proceedings of colour and visual scales 2000*, 2000.

[11] P. C. COSMAN, R. M. GRAY and R. O. OLSHEN, Evaluating quality of compressed medical images: SNR, Subjective Rating, and Diagnostic Accuracy, *Proceedings of the IEEE*, Vol. 82(6), June 1994.

[12] P. Marziliano, F. Dufaux, S. Winkler, and T. Ebrahimi. Perceptual blur and ringing metrics: application to jpeg2000. *Signal Processing: Image Communication,* 19:163–172, 2004.

[13] R. McDonald. Acceptability decisions using the CMC color difference formula. *Textiles chemist and colorist*, 20(6) :31–36, 1988.

[14] R. McDonald. The effect of non-uniformity in the ANLAB color space on the interpretation of visual color differences. *Journal of society of Dyers Colour*, 90(6) :189–198, 1974.

[15] R.S. Berns, D.H. Alman, L. Reniff, G.D. Snyder, and M. Balonon-Rosen. Visual determination of suprathreshold color difference tolerances using probit analysis. *Color research and Application*, 16 :297–316, 1991.

[16] Rec. ITU-R BT.500-11. Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures. ITU-R, 1974-2002.

[17] S. OLSSON, M. STROPPIANA, J. BAÏNA, Objective methods for assessment of video quality: state of the art, *IEEE Transaction on Broadcasting*, Vol. 43(4), December 1997.

[18] S. Ouni, M. Herbin, E. Zagrouba, Are existing procedures enough? Image and video quality assessment: review of subjective and objective metrics. *Image Quality and System Performance, SPIE/IS&T Electronic Imaging*, 2008.

[19] Z. Wang, A. C. Bovik and L. Lu, "Why is image quality assessment so difficult?" *Proc. IEEE Int. Conf. Acoustics, Speech, and Signal Proc*., vol. 4, pp. 3313-3316, May 2002.