

Sur les caractéristiques dominantes de similarité des couleurs

C. Vertan A. Stoica C. Fernandez-Maloigne

IRCOM-SIC (Laboratoire Signal Image et Communications), UMR-CNRS 6615

Université de Poitiers

Bat. SP2MI, Téléport 2, BP 30179, 86962 – FUTUROSCOPE Chasseneuil Cedex, France

Tel: +33 5 49 49 65 67; fax: +33 5 49 49 65 70

{vertan, stoica, maloigne}@sic.sp2mi.univ-poitiers.fr

Résumé

Un expérience de mesure de la similarité entre couleurs a été réalisée sur la palette Gretag Macbeth comportant 24 nuances de couleur. Les similarités entre ces couleurs ont été mesurées par des distances Euclidiennes, et d'autres mesures quantitatives classiques entre les représentations colorimétriques de base (comme le RVB, Lab ou les courbes d'intensité spectrale), d'une part, et par jugements subjectifs d'observateurs humains, d'autre part. Pour chaque cas, sur la matrice de dissimilarité a été appliqué un algorithme classique de mise à l'échelle multidimensionnelle, pour produire une représentation bidimensionnelle de la similarité des couleurs visuellement interprétable. L'analyse des ces représentations conduit à des conclusions très intéressantes. En concordance avec ces représentations, le jugement humain sur le similarité n'est pas totalement basé sur le modèle HSV (Hue, Saturation, Luminance), comme nous serions tentés de dire.

Mots clefs

Perception de la couleur, Distances entre couleurs, Modèles des couleurs, "Multidimensional scaling", Evaluation subjective.

1. Introduction

L'interaction homme-machine est un domaine de grand intérêt pour la recherche. L'étude de la perception visuelle humaine et la nature particulière du système visuel humain sont loin de produire des résultats définitifs. L'interprétation des jugements subjectifs est une des approches favorite dans la science cognitive [7]; récemment [3-5] a été étendu à l'étude de la perception humaine sur les différences couleur (textures). Les calculs sont effectués en faisant une corrélation entre les caractéristiques colorimétriques et les dimensions

dominantes issues de la représentation plane des couleurs, par reconstruction des coordonnées par mise à l'échelle multidimensionnelle (ou MDS – *Multidimensional Scaling*) [7], [8]. En fonction des résultats obtenus, des lois et des catégories sont définies pour juger la similarité des textures couleurs. Mais, une étude sur les similarités entre couleurs seulement, n'a pas encore été faite.

Cet article est organisé comme suit: la deuxième section présente l'algorithme classique du MDS, la troisième section décrit les évaluations objectives de similarité des couleurs, et la quatrième section présente les évaluations subjectives de similarité des couleurs. Finalement, nous discutons les résultats obtenus et nous concluons sur les perspectives de ce travail.

2. Multidimensional Scaling

Outil bien connu des statisticiens et des chercheurs en psychologie [7], la MDS, dans ses variantes de base [8], permet de passer d'une représentation des interactions (ou relations) entre paires d'éléments à une représentation des éléments mêmes [7], [8].

Pour notre application, nous avons utilisé le cas métrique pour lequel on suppose que la mesure disponible pour chaque paire de couleurs (d_{ij}) provient de l'application d'une relation métrique (plus précisément Euclidienne) entre les composantes de description des éléments (couleurs). Nous calculons ensuite les coordonnées de ces éléments en fonction des distances Euclidiennes. L'algorithme de la métrique MDS classique [8] est le suivant : 1. construire la matrice de distances quadratiques, $\mathbf{D} = \{d_{ij}^2\}$; 2. appliquer l'opérateur de double centrage pour obtenir la matrice de produits scalaires,

$$\mathbf{B}^* = -\frac{1}{2} \left(\mathbf{I} - \frac{1}{n} \mathbf{U} \right) \mathbf{D} \left(\mathbf{I} - \frac{1}{n} \mathbf{U} \right) \quad (\text{avec } \mathbf{I} \text{ la matrice}$$

identité de dimension n et \mathbf{U} une matrice avec toutes les composantes de valeur 1); 3. décomposer la matrice des

produits scalaires selon une décomposition en valeurs singulières $\mathbf{B}^* = \mathbf{LUV} = (\mathbf{LV}^{1/2})(\mathbf{LV}^{1/2})^T$; 4. calculer la matrice des coordonnées des points, $\mathbf{X}^* = \mathbf{LV}^{1/2}$.

En théorie, pour une représentation sans erreurs, on doit utiliser toutes les coordonnées produites par la MDS. La sélection du nombre optimal de coordonnées se fait par le « test du talus » (*scree test*), qui inspecte la forme du graphique de l'erreur de représentation en fonction du nombre de coordonnées utilisées. Le nombre acceptable de coordonnées à utiliser est identifié par la position du minimum de la courbe (figurant un « coude ») [2].

3. Evaluation objective de similarité des couleurs

Nous avons utilisé pour l'expérience la palette d'évaluation réduite Gretag Macbeth (24 couleurs et niveaux de gris) [1]. Pour toutes les couleurs de la palette, les caractéristiques colorimétriques exactes sont connues (*RVB*, *Lab*, intensités spectrales dans la bande visible de 380 nm à 780 nm). Pour chaque paire de couleurs, nous avons calculé la distance entre couleurs (disimilarité) comme une distance Euclidienne entre différentes représentations colorimétriques, telles que *Lab*, *RVB* et la *représentation spectrale de couleurs*. La matrice des distances résultante est utilisée comme donnée d'entrée pour l'algorithme MDS, afin de produire une nouvelle représentation numérique pour les couleurs de la palette. Les premières coordonnées résultantes ont été utilisées pour l'affichage 2D de la disimilarité entre couleurs.

3.1 Représentation dans l'espace *Lab*

La distance entre les couleurs c_1 et c_2 , décrite par les triplettes *Lab*, (L_1, a_1, b_1) et (L_2, a_2, b_2) , est:

$$dist_{Lab}(c_1, c_2) = \sqrt{(L_1 - L_2)^2 + (a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2}$$

La figure 1 présente les graphes des disimilarités couleur issus de la MDS. Nous pouvons remarquer deux directions de variation couleur dans le premier graphe, (selon les deux coordonnées MDS les plus importantes (figure 1 a)): une selon l'axe de variation rouge-vert, et l'autre selon l'axe jaune-bleu. Au milieu du graphe, on trouve les couleurs achromatiques (les niveaux de gris), ordonnées du noir vers le blanc. Le deuxième graphe (figure 1 b)), réalisé selon les deuxième et troisième coordonnées MDS, présente une variation verticale de l'intensité (montré par l'alignement linéaire des couleurs grises). Sur la direction horizontale, on trouve les

variations des couleurs, rangées du rouge vers jaune et du bleu vers vert.

Les deux graphes avec les observations mentionnées sont en effet concordants avec les principes de la représentation des couleurs dans l'espace *Lab* [6]: les coordonnées a et b sont des différences chromatiques (rouge-vert et bleu-jaune) et la coordonnée L est directement liée à la luminance. La décision de similarité couleur est prise en principal en concordance avec les différences chromatiques et, dans certains cas, en concordance avec la luminance.

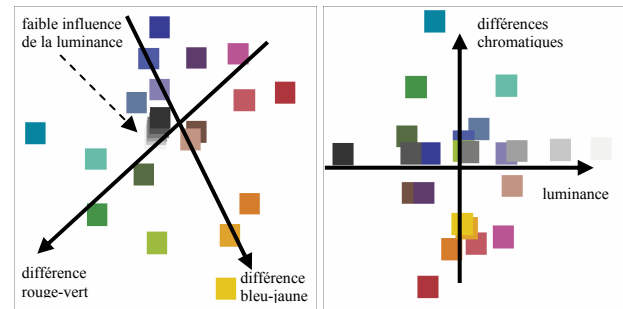


Figure 1: Représentation des similarités entre couleurs à partir des distances calculées pour la représentation *Lab*: a) affichage selon les deux premières coordonnées MDS; b) affichage selon les coordonnées MDS deux et trois.

3.2 Représentation dans l'espace *RVB*

La distance entre les couleurs c_1 et c_2 , décrite par les triplettes *RVB*, (R_1, V_1, B_1) et (R_2, V_2, B_2) , est :

$$dist_{RVB}(c_1, c_2) = \sqrt{(R_1 - R_2)^2 + (V_1 - V_2)^2 + (B_1 - B_2)^2}$$

La figure 2 présente les graphes des disimilarités couleur issus de la MDS. Nous pouvons observer dans le premier graphe, affiché selon les premières deux coordonnées MDS (figure 2 a)), deux directions de variation: une variation diagonale de l'intensité (montré par l'alignement linéaire des couleurs grises), et une variation couleur du rouge-jaune vers bleu-vert selon la deuxième diagonale. Le deuxième graphe (figure 1 b)), réalisé selon les deuxième et troisième coordonnées MDS, présente deux variations couleurs orthogonale séparées, du rouge vers vert et du jaune vers bleu. Une axe de variation des couleurs achromatiques est toujours présente, prouvant que les différences couleur ne sont pas indépendantes de la luminance, comme dans le cas de la représentation *Lab*.

Nous pouvons remarquer que les différences couleur sont implicitement incluses dans les mesures de disimilarité couleur *RVB*, et que, dans le cas du *RVB*, la luminance est la caractéristique la plus importante.

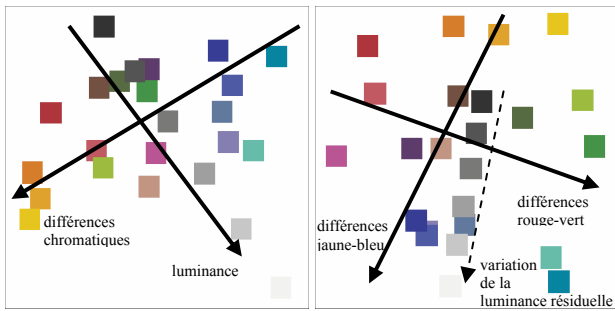


Figure 2: Représentation des similarités entre couleurs à partir des distances calculées pour la représentation *RVB*: a) affichage selon les deux premières coordonnées MDS; b) affichage selon les coordonnées MDS deux et trois.

3.3 Représentation spectrale des couleurs

Les couleurs de la palette Gretag Macbeth sont caractérisées par des courbes spectrales de réflectance, aux longueurs d'onde espacées de 5 nm, entre 380 nm et 780 nm, produisant un vecteur de description couleur, de 81 composantes $(s_1, s_2, \dots, s_{81})$. La distance entre les couleurs c_1 et c_2 , décrite par les vecteurs spectraux s_1

$$\text{et } s_2, \text{ est: } \text{dist}_{\text{spec}}(c_1, c_2) = \sqrt{\sum_{k=1}^{81} (s_{k1} - s_{k2})^2}.$$

La figure 3 présente les graphes des disimilarités couleur issus de la MDS. Nous pouvons remarquer une forte ressemblance avec les graphes résultants de la représentation *RVB*.

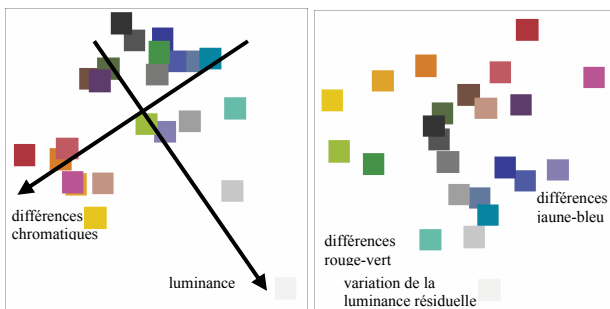


Figure 3: Représentation des similarités entre couleurs à partir des distances calculées pour la représentation spectrale: a) affichage selon les deux premières coordonnées MDS; b) affichage selon les coordonnées MDS deux et trois.

La ressemblance évidente entre les graphes des disimilarités couleur spectrale et *RVB*, suggère que les primaires *RVB* sont physiquement liées aux mesures de réflectance spectrale (ce qui n'est pas le cas pour la représentation *Lab*). Ainsi, la disimilarité couleur est fortement déterminée par la luminance et les différences

chromatiques de base, bien que ce type de caractéristiques ne sont pas explicitement présentes dans la description spectrale couleur.

4. Evaluation subjective de similarité des couleurs

La même palette de couleurs a été évaluée par un panel d'observateurs humains. Ces observateurs ont été sélectionnés en fonction de leur acuité visuelle normale et leur vision normale des couleurs. Le panel d'observateurs contient des experts et des non-spécialistes dans le domaine de l'imagerie couleur.

Pour chaque paire de couleurs, les observateurs ont noté le degré de disimilarité avec un score de similarité, de 1 à 5, selon les termes: "Dissimilaires", "Pas trop similaires", "Assez similaires", "Similaires", "Très similaires". La matrice des distances résultante est utilisée comme donnée d'entrée pour l'algorithme MDS (en supposant implicitement que le jugement de similarité couleur humain est basé sur une métrique). La figure 4 présente les graphes des disimilarités couleur résultants pour un observateur typique (figure 4 a)), un observateur "moyen" (figure 4 b)), un observateur atypique (figure 4 c)) et pour la représentation selon la description TLS des couleurs.(figure 4 d)).

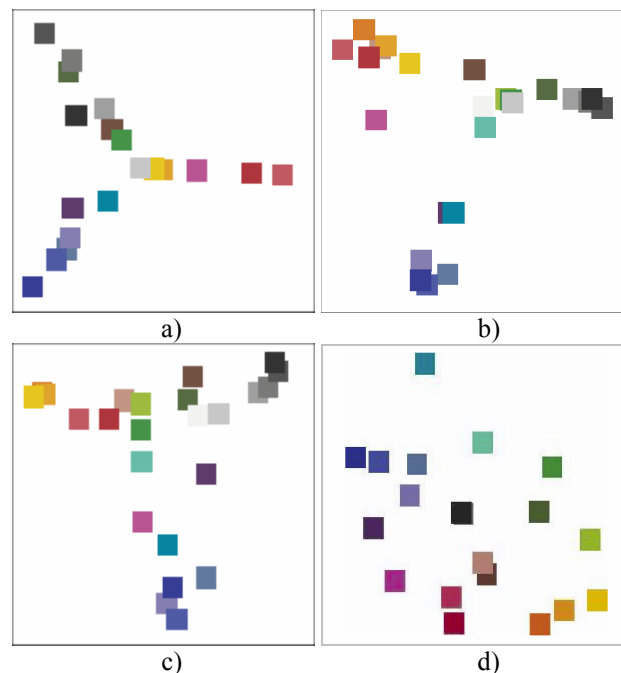


Figure 4: Représentation des similarités entre couleurs selon les notes des observateurs: a) un observateur typique; b) l'observateur moyen (par la moyenne des notes de tous les observateurs du panel d'évaluation); c) observateur atypique ; d) représentation selon la description TLS des couleurs.

Les graphes résultants présentent en général une configuration en forme d'étoile, très différente des configurations obtenues en utilisant les représentations colorimétriques usuelles (*RVB*, *Lab*, etc.). Ainsi, nous pouvons dire que le jugement humain sur la dissimilarité couleur n'est pas totalement basé sur une représentation en termes de Teinte, Saturation, Luminance ou une représentation antagoniste en couleurs opposites.

5. Conclusion

Cet article propose l'utilisation d'un algorithme classique de mise à l'échelle multidimensionnelle, pour la génération des deux graphes 2D des similarités couleur. Les graphes présentent les dissimilarités entre les couleurs normalisées appartenant à la palette Gretag Macbeth, par un arrangement spatial couleur. Les graphes résultants fournissent des informations sur les principes de la dissimilarité couleur, aussi bien pour les représentations couleurs objectives, que pour les jugements subjectives. Les représentations produites par les distances en *Lab*, ou *RVB*, montrent une variation directionnelle évidente, en conformité avec la luminance et deux différences chromatiques (rouge-vert, bleu-jaune). Ce comportement (trivial pour la représentation *Lab*) suggère que la mesure de similarité par des différences chromatiques est contenue d'une manière implicite dans les représentations *RVB* et spectrales.

Les représentations des similarités couleur associées à des jugements humains (pour toute la gamme des observateurs, ainsi que pour l'observateur "moyen") ont une organisation différente, qui combine la teinte, la saturation et la luminance (*TLS*).

Une autre conclusion s'appuie sur le fait que les jugements des dissimilarités couleur humaines, ne sont pas vraiment relatifs à une métrique mathématique. Ainsi nos travaux futurs devront prendre en considération l'utilisation d'un algorithme MDS complètement optimisé.

Références

- [1] <http://www.munsell.com>
- [2] J. B. Kruskal and M. Wish, *Multidimensional Scaling*, Sage Publications, Beverly Hills, CA, 1978.
- [3] A. Mojsilovic, J. Kovacevic, J. Hu, R. Safraneck, and K. Ganapathy, "The vocabulary and grammar of color patterns", *IEEE Trans. on Image Processing* 9, pp. 417-431, Mars 2000.
- [4] A. Mojsilovic, J. Kovacevic, J. Hu, R. Safraneck, and K. Ganapathy, "Matching and retrieval based on the vocabulary and grammar of color patterns", *IEEE Trans. on Image Processing* 9, pp. 38-54, Jan 2000.
- [5] J. Restat, "Psychological relevant features of color patterns", in *Proc. Of Workshop on image Analysis for Multimedia Services WIAMIS 2001*, pp. 107-112, (Tampere, Finland), 16-17 May 2001.
- [6] S. J. Sangwine and R. E. N. Horne, eds., *The Color image processing handbook*, Chapman and Hall, London, UK, 1998.
- [7] M. Steyvers, *Encyclopedia of Cognitive Science*, ch. Multidimensional Scaling. Macmillan Reference Ltd., 2002.
- [8] W. Torgerson : *Theory and Methods of Scaling*. Wiley, New York, 1958.