

色情報とグレースケール保存を考慮した デジタル画像のモノクロ変換

Color-to-Monochrome Transformation of Digital Images
Considering Color Information and Grayscale Preservation

田中 豪*
Go Tanaka*

末竹 規哲*
Noriaki Suetake*

内野 英治*,†
Eiji Uchino*,†

1 まえがき

従来、カラー画像のモノクロ変換では、各画素の明度成分をグレースケールとしていた。例えば、HDTV規格 [1] における明度 Y^{HD} は、

$$Y^{\text{HD}} = 0.2126R + 0.7152G + 0.0722B \quad (1)$$

で計算される。ここで、 R, G, B は入力カラー画像のリニアRGB値 [1] である。多くの場合、この変換により良好なモノクロ画像を得ることができる。

しかし、明度のみによるモノクロ変換では、色情報（色相および彩度）がモノクロ画像に反映されない。色相や彩度は異なるが、明度は等しい領域が隣接している場合、明度成分のみによるモノクロ変換では隣接した対象物同士を識別できなくなってしまう。

この問題を解決するために、近年、色の違いを考慮したモノクロ変換手法が研究されている [2-5]。Color2Gray [2] では、色の違いを反映させるための最小化問題を設定し、それを解くことでモノクロ画像を得る。Color2Gray のモノクロ変換能力は優れており、良好な変換結果が得られることが多い。Decolorize [3] では、色の違いを反映した暫定のモノクロ画像を作成し、その画像に対して「グレースケール保存」のための処理を施す。グレースケール保存とは、カラー画像において無彩色であった色のグレースケールレベルがもとの明度成分に一致することであり、その方が自然な印象のモノクロ画像になりやすい。ただし、色の違いが反映された暫定のモノクロ画像に対してグレースケール保存処理を行うので、色の違いの反映結果が崩れてしまうことがある。

本報告では、Color2Gray の最小化問題を応用することで、色の違いの反映とグレースケール保存を両立したモノクロ変換手法を提案する。Decolorize とは異なり、提案手法では色情報の反映とグレースケール保存を同時に行う。著者らは以前、そのような手法を提案したが [4, 5]、本報告で提案する手法が理論的にも計算効率的にも最も優れたものである。

2 提案手法

提案手法では、式 (1) のように、入力画像の画素値の線形射影によりモノクロ変換を行う。射影係数は入力カラー画像の色分布に応じて決定される。また、提案手法のモノクロ変換ではグレースケール保存が実現される。以下に、提案手法の具体的な手順を述べる。

2.1 グレースケール保存を実現するモノクロ変換方式

提案手法では、画素 i のグレースケールレベル（明度成分） \tilde{L}_i^* を

$$\tilde{L}_i^* = L_i^* + c_a a_i^* + c_b b_i^* \quad (2)$$

で得る。ここで、 L^*, a^*, b^* は CIE 1976 $L^*a^*b^*$ 色空間 [1] 上の値である。 L^* は明度成分であり、 a^* 及び b^* は色み成分である。 c_a と c_b は射影係数であり、実数である。射影係数 c は、カラー画像における色の違いがモノクロ画像に反映されるように決定する。その方法は次節で述べる。

式 (2) による変換では、グレースケール保存が（自動的に）実現される。なぜならば、無彩色の画素の a^* 及び b^* 値は 0 であるので、その画素に関しては $\tilde{L}^* = L^*$ となるからである。また、無彩色に近い色（ a^* や b^* の値が小さい色）も通常の明度成分 L^* に似たグレースケールレベルになる。

2.2 射影係数の決定

式 (2) における射影係数は、

$$\{\tilde{c}_a, \tilde{c}_b\} = \arg \min_{\{c_a, c_b\} \in \mathbb{R}} E(c_a, c_b), \quad (3)$$

$$E(c_a, c_b) = \sum_{(i,j) \in P} ((\tilde{L}_i^* - \tilde{L}_j^*) - \delta_{ij})^2 \quad (4)$$

で決定する。この最小化問題は Color2Gray を応用したものである。目的関数 E の形式は Color2Gray のものと同じである。式 (4) において P は画素対 (i, j) の集合であるが、本報告では、“ガウシアンベアリング”により決定した画素対を P の要素とする。この点は Color2Gray とは異なる。ガウシアンベアリングの詳細については文献 [3] を参照されたい。 δ_{ij} は画素 i と j の色の違いを定量的に表したものであり、 E の最小化を通してグレースケール \tilde{L}^* に反映される。

δ_{ij} は、Color2Gray において定義された「画素 i と j について色の違いを考慮したときの明度差」であり、

$$\delta_{ij} = \begin{cases} \Delta L_{ij}^* & |\Delta L_{ij}^*| > \Phi_\alpha(\|\Delta C_{ij}\|) \\ \text{sign}(\Delta C_{ij} \cdot \mathbf{v}_\theta) \Phi_\alpha(\|\Delta C_{ij}\|) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

である。ここで、

$$\Delta L_{ij}^* = L_i^* - L_j^*, \quad (6)$$

$$\Phi_\alpha(x) = \alpha \tanh(x/\alpha), \quad (7)$$

$$\Delta C_{ij} = (\Delta a_{ij}^*, \Delta b_{ij}^*) = (a_i^* - a_j^*, b_i^* - b_j^*), \quad (8)$$

$$\text{sign}(x) = \begin{cases} +1 & x > 0 \\ -1 & \text{otherwise} \end{cases}, \quad (9)$$

$$\mathbf{v}_\theta = (\cos \theta, \sin \theta) \quad (10)$$

である [2]。式 (5) において “ \cdot ” は内積を表す。式 (7) における α は正の実数であり、カラー画像における色の違いをどの程度

* 山口大学大学院理工学研究所, Graduate School of Science and Engineering, Yamaguchi University

† 財団法人ファジシステム研究所, Fuzzy Logic Systems Institute

グレースケールに反映させるかを調節するパラメータである．式(10)中の θ は $[0, 2\pi)$ の実数であり，モノクロ化においてどのような色の画素を明るく(または暗く)するかを決定するパラメータである．例えば， θ を $\pi/4$ 程度にすると暖色を明るく，寒色を暗くする効果がある．

また，式(3)~(10)で定義された最小化問題は解析的に解ける． E を c_a 及び c_b で偏微分すると，2元連立1次方程式が得られるのでそれを解けばよい．

2.3 画素値の修正

提案手法では最小化問題を解いて得た射影係数 \tilde{c} によりグレースケール \tilde{L}^* を計算するが， \tilde{c} と画素値の組合せによっては， \tilde{L}^* は $[0, 100]$ の範囲外の値となることがある．そこで，

$$\hat{L}_i^* = \begin{cases} 0 & \tilde{L}_i^* < 0 \\ \tilde{L}_i^* & 0 \leq \tilde{L}_i^* \leq 100 \\ 100 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (11)$$

としたものを出力値とする．ただし，最終的な出力値を得るためには，補正[1]などのスケール変換が必要である．

3 実験

実験により，提案手法の有効性を示す．ただし，本稿はモノクロ印刷であるので，カラーの原画像を掲載することはできない．必要に応じて，Color2GrayあるいはDecolorizeによるモノクロ変換画像を理想モノクロ画像として原画像の代わりに掲載する．

各手法のパラメータの設定を以下に述べる．Color2Grayと提案手法では α と θ が共通のパラメータであり，両手法とも $\alpha=15$ ， $\theta=\pi/4$ とした．Color2Grayにおいて画素対を考慮する範囲は画像全体とした．提案手法においてガウシアンベアリングのための標準偏差は5とした．Decolorizeのパラメータは，文献[3]に基づいて $\lambda=0.3$ ， $\sigma=25$ ， $\eta=0.001$ とした．

まず，画像carに対するモノクロ変換結果を図1に示す．図1(a)はDecolorizeによるモノクロ変換結果であり，理想画像とみなす．図1(b)，(c)，(d)はそれぞれ，明度成分 Y^{HD} ，Color2Gray，提案手法によるモノクロ変換結果である． Y^{HD} では色の違いの反映が不十分であり，Color2Grayによる結果では雲の部分が不自然な印象になっている．雲の部分は無彩色(極めて低彩度)であり，Decolorize及び提案手法におけるグレースケール保存の効果が確認できる．

次に，画像mapに対するモノクロ変換結果を図2に示す．この画像に関しては，Color2Gray[2]によるモノクロ変換結果を理想的な結果として図2(a)に示す． Y^{HD} 及びDecolorizeによる結果では島が見えず，良好な結果ではない．紙面の都合上掲載はしていないが，Decolorizeの暫定画像では島が見える．しかし，後から行うグレースケール保存処理により，島は見えなくなってしまう．一方，提案手法では色情報の反映とグレースケール保存を同時に行うので，そのようなことは起こらず，良好なモノクロ変換結果が得られている．

4 むすび

本報告では，色情報の反映とグレースケール保存を両立したモノクロ変換手法を提案した．提案手法の特長は，色情報の反映とグレースケール保存を同時に行う点にある．実験により，提案手法の有効性を確認した．

謝辞 本研究は科研費(21-10523)の助成を受けたものである．

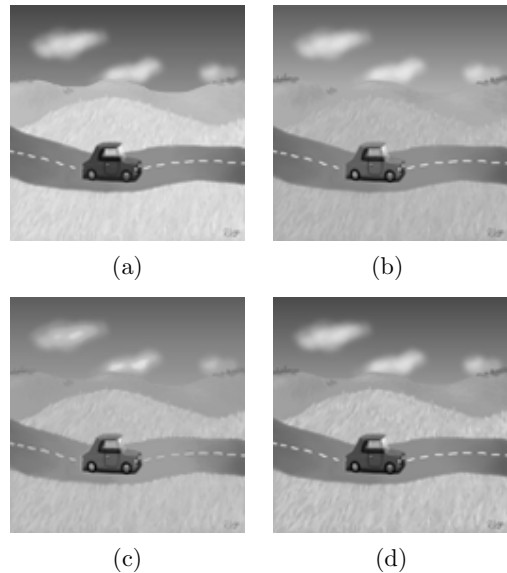


図1 モノクロ変換結果(car)(a) Decolorize(理想画像)，(b) 明度成分 Y^{HD} ，(c) Color2Gray，(d) 提案手法

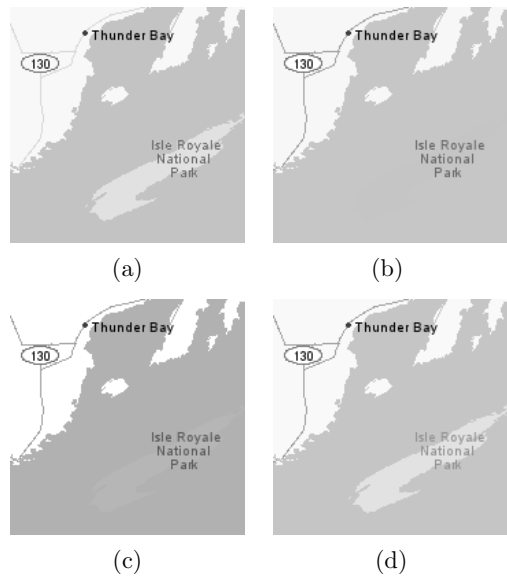


図2 モノクロ変換結果(map)(a) Color2Gray(理想画像)，(b) 明度成分 Y^{HD} ，(c) Decolorize，(d) 提案手法

参考文献

- [1] 高木幹雄，下田陽久(監修)，新編 画像解析ハンドブック，東京大学出版会，東京，2004.
- [2] A.A. Gooch, S.C. Olsen, J. Tumblin, and B. Gooch, "Color2Gray: Saliency-preserving color removal," ACM Trans. Graphics, vol.24, no.3, pp.634-639, July 2005.
- [3] M. Grundland and N.A. Dodgson, "Decolorize: Fast, contrast enhancing, color to grayscale conversion," Pattern Recogn., vol.40, no.1, pp.2891-2896, Nov. 2007.
- [4] 田中 豪，末竹規哲，内野英治，"色の違いとグレースケール保存を考慮したデジタルカラー画像のモノクロ変換，" 2010 信学総大，no.A-20-12, p.291, March 2010.
- [5] 田中 豪，末竹規哲，内野英治，"色の違いとグレースケール保存を考慮したカラー画像のモノクロ変換，" 信学技報，SIS2010-15, vol.110, no.74, pp.83-86, June 2010.