

カラー画像フュージョンによる反射透過画像の生成

杉万泰俊 守田了

山口大学工学部

宇部市常盤台 2557

画像を融合する場合に、融合方法が融合結果に大きく反映する。融合に先立ち、従来用いられている融合方法を統合した空間である画像融合空間を作成することで、最適な融合手法を求める。本稿では、ウェーブレット画像融合を用いて高い周波数から低い周波数にわたって、融合することにより精彩な融合画像を生成する。特にカラー画像を融合する場合には、望ましい色に融合することは一般に困難である。本論文では人の直観的にわかりやすいマンセル表色系に近い色相 H 、彩度 S 、明度 I の三属性による HSI 画像空間に変換した後に、融合することで望ましい色の融合を実現する。一枚はガラスの内部の物体に焦点を合わせ、偏光フィルタを用いてガラスの反射光を抑制し、絞りを小さな値に設定して写真を撮影する。もう一枚はガラスに焦点を合わせ、偏光フィルタを用いてガラスの反射光以外の光を抑制し、絞りを小さな値に設定して写真を撮影する。両者の画像はそれぞれガラスの内部と反射画像が高い解像度で映し出されており、それらの画像を融合することにより、見ている画像に近いガラスの内部も反射画像も高いダイナミックレンジで映し出された画像を生成できることを示す。

キーワード 画像融合, ウェーブレット, HSI, 色, 反射画像

Generating Reflection Image by Color Image Fusion

Yasutoshi SUGIMAN and Satoru MORITA

Faculty of Engineering, Yamaguchi University

2557 Tokiwadai, Ube, 755, Japan

In this paper, the fusion result is affected by the fusion method. We find the optimal method by generating the image fusion space integrated the traditional methods. We generate the desired fusion image by using the wavelet. In especially, it is difficult to generate the desired color in the case of fusing the color image. We realize the desired color image fusion by generating the HSI image space based on hue, saturation and intensity. We take a picture by setting focal point in the object and limiting the reflection ray using the polarization filter and setting the small value in the iris diaphragm. We take another picture by setting focal point in the object and limiting the ray except the reflection using the polarization filter and setting the small value in the iris diaphragm. We show it that we can generate the picture displayed clearly both the window inside and the reflection image in the high dynamic range by fusing these pictures.

keyword: image fusion, wavelet, HSI, color, reflection image

1 はじめに

近年画像を融合する手法が盛んに研究されている [1][2][3][4]. ウェーブレットに対応する係数に基づき [5][6] 活動レベルを計測する方法が考えられている [7][8][9]. 窓の平均を用いる WA-WBA 法, 窓内の順位を用いる RA-WBA 法, 窓内の空間周波数を用いる SF-WBA 法が提案されている. 他方で複数の画像から得られた活動レベルを用いて新たな画像のウェーブレット分解の結果得られる MSD 係数を決定する方法が考えられている. 融合画像を作成する際に, 活動レベルの大きい画像を選択する方法 CM 法, 活動レベルに関係なく多重解像度表現に対応する係数の平均を用いる方法, 活動レベルに応じて融合後の多重解像度分解表現に対応する係数を求める方法が提案されている. これらの選択方法は個別に比較されているものの, すべての融合法がどのような関係にあるかは議論されていない. 本節ではこれらの方法を統合した画像融合空間を作成することで, 最適な融合法を見つける手法を提案する.

RGB 空間で人間の感覚にあった色彩に関する処理を行うことは難しい [10]. 直観的にわかりやすいマンセル表色系に近い色相 H , 彩度 S , 明度 I の三属性に RGB データを変換し, 処理を行う. 2 枚のカラー画像を HSI 画像に変換した後に色相 H , 明度 I , 彩度 S の画像ごとウェーブレット変換をして, 画像融合空間を作成することで最適な融合法を見つける.

本研究では偏光角度, 露出, ピント, 絞りを変えて撮影したガラスの内部とガラスに映る反射画像の両者が鮮明に映し出される画像を生成する. そのために一枚はガラスに焦点を合わせ, 偏光フィルタを用いてガラスに映った反射光以外を抑制し, 絞りを小さな値に設定して撮影した画像と, もう一枚はガラスの内部の物体に焦点を合わせ, 偏光フィルタを用いて反射光を抑制し, 絞りを小さな値に設定して撮影した画像を用いる. 両者の画像はそれぞれガラスの内部と反射画像が高い解像度で映し出されており, それらの画像を融合することにより, 見ている画像に近いガラスの内部も反射画像も高いダイナミックレンジで映し出されている画像を生成できることを示す. 評価画像には偏光角度は両者の間で絞りを大きな値に設定して, 撮影した画像を用いた.

2. ではウェーブレット画像融合を説明し, 3. では画像融合空間を説明し, 4. では画像融合空間に基づくカラー画像融合を説明し, 5. で実際に反射透過画像を生成し有効性を示す.

2 ウェーブレット画像融合

ウェーブレット変換を用いて, 信号の多重解像度表現を得ることができる. $\phi(x)$ はスケーリング関数 $\psi(x)$ はウェーブレット関数である. $l(n)$ はスケーリング係数であり, $h(n)$ はウェーブレット係数である.

$$\phi(x) = \sqrt{2} \sum_{n \in Z} l(n) \phi(2x - n)$$

$$\psi(x) = \sqrt{2} \sum_{n \in Z} h(n) \phi(2x - n)$$

$$f(x) = \sum_{n \in Z} c_n^0 \phi(x - n) =$$

$$\sum_k c_k^J \phi_k^J(x) + \sum_{j=1}^{J-1} \sum_k d_k^j \psi_k^j(x)$$

レベル j における係数 c_k^j と d_k^j は次の再帰方程式によりレベル $j-1$ における c_k^{j-1} 係数に関係している.

$$c_k^j = \sum_{n \in Z} c_k^{j-1} l(n - 2k)$$

$$d_k^j = \sum_{n \in Z} c_k^{j-1} h(n - 2k)$$

但し $j = 1, 2, \dots, J$ である. より細かいレベル j におけるスケーリング関数を得るためには, より粗いレベル $j+1$ における c_n^{j+1}, d_n^{j+1} をアップサンプリングし, $l(n)$ と $h(n)$ を畳み込むことと等価である.

$$c_k^j = \sum_{n \in Z} c_n^{j+1} l(k - 2n) + \sum_{n \in Z} d_n^{j+1} h(k - 2n)$$

ウェーブレット信号融合は融合する 2 つの信号を n レベルまでウェーブレット分解し, ウェーブレット係数とスケーリング係数を n レベルから順番に融合していきながら, ウェーブレット再構成していきながら, レベル 0 の信号を得る. このようにして得られた信号がウェーブレット信号融合により生成された信号である.

二次元信号では j レベルの画像は $j+1$ レベルの 4 枚の画像 LL, HL, LH, HH に分解される. $\phi_{LL}(x) = \phi(x)\phi(y)$ $\phi_{LH}(x) = \phi(x)\psi(y)$ $\phi_{HL}(x) = \psi(x)\phi(y)$ $\phi_{HH}(x) = \psi(x)\psi(y)$ レベル j における係数 c_k^j と d_k^j は次の再帰方程式によりレベル $j-1$ における c_k^{j-1} 係数に関係している. より細かいレベル j におけるスケーリング関数を得るためには, より粗いレベル $j+1$ における c_n^{j+1}, d_n^{j+1} をアップサンプリングし, $l(n)$ と $h(n)$ を畳み込むことと等価である. ウェーブレット画像融合は融合する 2 枚の画像を n レベルまでウェーブレット分解し, ウェーブレット係数とスケーリング係数を n レベルから順番に融合していきながら, ウェーブレット再構成していきながら, レベル 0 の画像を得る. このようにして得られた画像がウェーブレット画像融合により生成された画像である. このようにしてウェーブレット分解後に, 高い周波数から低い周波数にわたって融合し, ウェーブレット逆変換により合成することにより, より精彩な融合画像を生成する.

3 画像融合空間

ウェーブレットを用いた多重解像度分解表現に対応する MSD 係数に基づき活動レベルを計測する方法が様々に考えられている。他方で複数の画像から得られた活動レベルを用いて新たな画像の多重解像度分解表現に対応する MSD 係数を決定する方法が様々に考えられている。これらすべての方法で融合した融合結果をこれらの選択法を統合した空間に投影することにより、最適な選択融合法を見つける手法を提案する。

3.1 活動レベル計測法

多重解像度分解表現に対応する MSD 係数 $D(p)$ に基づいた活動レベル計測法 (CBA 法) が提案されている。 $A_i(p) = |D_i(p)|$ もしくは $A_i(p) = |D_i(p)|^2$ が用いられる。ここで $A(p)$ は活動レベルである。多重解像度分解表現に対応する MSD 係数の決定のために変数 $p = (m, n, k, l)$ を用いる。 m, n は空間位置であり、 k は分解レベルであり、 l は周波数幅である。さらに窓に基づいた活動レベル計測法 (WBA 法) が考えられている。ここでは窓の平均を用いる方法 (WA-WBA 法) や窓中のランクが一定のランクのものを用いる方法 (RF-WBA 法) が考えられている。WA-WBA 法では以下の式で定義される活動レベルが用いられる。 $A_i(p) = \sum_{s \in S, t \in T} w(s, t) |D_i(m+s, n+t, k, l)|$ RF-WBA 法では以下の式で定義される活動レベルが用いられる。 $A_i(p) = \text{Rank}(i)(|D_i(m+s, n+t, k, l)|)$ それに対して空間周波数に基づく方法 (SF-WBA 法) が考えられている。 y 方向の微分成分は以下の式で示され

$$R = \sqrt{\left(\frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=2}^N D_i(m, n, k, l) - D_i(m, n-1, k, l)\right)^2}$$

x 方向の微分成分は以下の式で示されるので、

$$C = \sqrt{\left(\frac{1}{MN} \sum_{n=1}^N \sum_{m=2}^M D_i(m, n, k, l) - D_i(m-1, n, k, l)\right)^2}$$

空間微分の活動レベルは以下のように定義される。

$$A_i(p) = \sqrt{R^2 + C^2}$$

3.2 MSD 係数の決定

画像を融合する際に活動レベルの大きい画像の MSD 係数を選択する

方法が提案されている。 $A_i(p) = \max(A_X(p), A_Y(p))$ もしくは $A_i(p) = \max(|A_X(p)|, |A_Y(p)|)$ となる

$$D_Z(m, n, k, l) = D_i(m, n, k, l)$$

を用いる。他方で融合する画像の活動レベルに応じて融合後の多重解像度分解表現に対応する係数を求める方法が提案されている。

$$D_Z(m, n, k, l) = \frac{A_X(p)D_X(m, n, k, l) + A_Y(p)D_Y(m, n, k, l)}{A_X(p) + A_Y(p)}$$

また活動レベルに関係なく多重解像度分解表現に対応する係数を平均する方法が考えられる。

$$D_Z(m, n, k, l) = \frac{D_X(m, n, k, l) + D_Y(m, n, k, l)}{2}$$

これらの選択法により、画像がどのような融合になるかが決定する。

これらすべての方法で融合した融合結果をこれらの選択法を統合した空間に投影することにより、最適な選択融合法を見つける手法を提案する。すなわち $|A_X(p)|$ と $|A_Y(p)|$ の比から融合比率を決定するのではなく、 $|A_X(p)|^q$ と $|A_Y(p)|^q$ の比から融合比率を決定する方法を提案する。上の融合式は以下のように変形される。

$$D_Z(m, n, k, l) = \frac{|A_X(p)|^q D_X(m, n, k, l) + |A_Y(p)|^q D_Y(m, n, k, l)}{|A_X(p)|^q + |A_Y(p)|^q} \quad (1)$$

q を $-\infty$ から ∞ まで調べることで、様々な重みの融合法が統合した空間を作成する。 q が ∞ の場合 CM 法であり、 q が $-\infty$ の場合 CM 法と逆に小さい方の多重解像度表現に対応する係数を選ぶ方法である。 q が 0 の場合は活動レベルに関係なく平均する方法であり、 q が 1 の場合はすでに提案されている活動レベルの比に応じた融合方法である。 q を $-\infty$ から ∞ までさまざまな融合が考えられ、それぞれはその性能が異なる。 q を $-\infty$ から ∞ までの空間を画像融合空間と呼ぶ。本研究ではこれらすべての融合方法を調べ、画像融合空間にマッピングすることで最適な融合法を見つける手法を提案する。

それぞれ活動レベル計測法が異なると画像融合空間は異なるので、本稿では WA-WBA 法と SF-WBA 法を用いた。RF-WBA 法については WA-WBA 法と似た傾向になるのでここでは省いたが、RF-WBA 法を加えることで性能は向上すると考えられる。それぞれウィンドウサイズは 1×1 , 3×3 と 5×5 を用いた。

さらに画像をどのレベルまで分解して融合するかによって融合性能が異なる。一般にレベルを高くして融合することでより精密な融合が可能になる。本研究では画像の大きさが 512×512 の画像を用いたので $512 = 2^9$ であるので、9 レベルが最大でレベル 1 まで分解して融合する 9 種類が考えられる。より密な融合を実現したいので、高いレベルの融合を用いるが、9 個のレベルから最適な融合を選択する。すなわち 9×6 個のグラフから一般画像融合空間にマッピングし、最適な融合法を見つける。

3.3 画像評価法

生成された融合画像は以下の方法で参照画像と比較する。

$$E = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} [I_{pr}(x, y) - I_{fd}(x, y)]^2} \quad (2)$$

$I_{pr}(x, y)$ は評価する参照画像であり、融合結果の画像は $I_{fd}(x, y)$ である。

4 カラー画像融合

コントラストに基づき画像を融合する手法が提案されている [9]。RGB 空間で人間の感覚にあった色彩に関する処理を行うことは難しい。直観的にわかりやすいマンセル表色系に近い色相 H 、彩度 S 、明度 I の三属性に RGB データを変換し、処理を行う。カラー画像の RGB 空間から色相 H 、彩度 S 、明度 I の HSI 空間へ画像を変換するには 6 角錐モデルを用いる。変換された画像の H, S, I はそれぞれ別々に融合される。まず始めに融合する画像をそれぞれ HSI 画像に変換し、別々に融合し最後に合成する。その際、色相 H 、彩度 S 、明度 I ごとに一般画像融合空間を作成し、それぞれ最適な融合法を用いることでよりよい融合を実現する。

4.1 画像融合の流れ

- 融合するカラー画像を六角錐モデルお用いて HSI 画像に変換する。
- HSI 画像をウェーブレット変換する。
- 目的の段階レベルで画像を融合する。

- 融合結果を HSI 画像ごとに画像融合空間に投影して最適な融合法を決定する。
- 最適な融合法で HSI 画像それぞれを融合する。
- 融合した画像をウェーブレット逆変換により合成し、その後 HSI 画像を逆変換して RGB 空間に変換する。

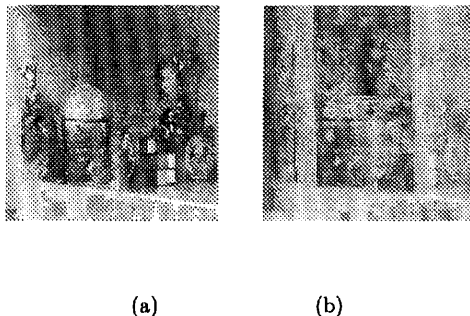


図 1: 融合に用いた画像 (a) 表 1 の撮影パラメータ X を用いて撮影した画像 (b) 表 1 の撮影パラメータ Y を用いて撮影した画像

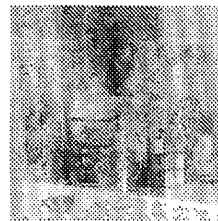


図 2: 表 1 の撮影パラメータ Z を用いて撮影した評価に用いた画像

5 反射透過画像の生成

本研究では偏光角度、露出、ピント、絞りを変えたガラスの内部とガラスに映る反射画像の両者が鮮明に映し出される画像を生成する。そのために一枚はガラスに焦点を合わせ、偏光フィルタを用いてガラスに映った反射画像以外の光を制限し、絞りを小さい値に設定して撮影した画像と、もう一枚はガラスの内部の物体に焦点を合わせ、偏光フィルタを用いて反射光を制限し、絞りを小さい値に設定して撮影した画像を用いる。両者の画像はそ

	偏光角度	露出	ピント	絞り
X	30	+0.7	object	F4.5
Y	130	+0.7	Glass	F4.5
X	70	+0.7	Glass	F16

表 1: X は融合前の画像であり, Y は融合前の画像であり, Z は 融合後の画像を評価する画像を撮影した時の撮影パラメータが示されている.

れぞれガラスの内部と反射画像が高い解像度で映し出されており, それらの画像を融合することにより, 見ている画像に近いガラスの内部も反射画像も高いダイナミックレンジで映し出されている画像を生成できる. それに対して評価画像には偏光角度は両者の中間で, 絞りは比較的大きい値に設定して撮影した画像を用いた.

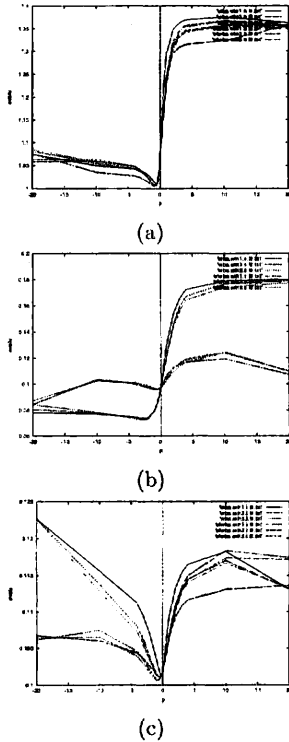


図 3: 融合に対する q による評価画像との比較による評価に基づく (a) 色相 (b) 彩度 (c) 明度における画像融合空間. 横軸は式 (1) における q , 縦軸は式 (2) における評価値 E である.

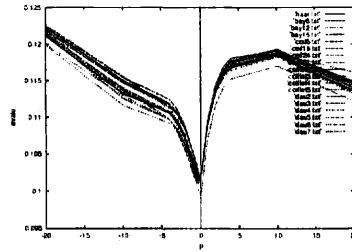


図 4: 融合に対する q による評価画像との比較による明度 WA-WBA 法 1×1 ウィンドウにおける各種マザーウェーブレットを用いた画像融合空間である. 横軸は式 (1) における q , 縦軸は式 (2) における評価値 E である

	level	activity	level	window size	q
h	level9	sfwba		1×1	-1.0
s	level9	sfwba		3×3	-2.0
i	level9	wba		1×1	0.0

表 2: 画像融合空間から得られた最適融合法

表 1 のパラメータ X は融合前の画像, パラメータ Y は融合前の画像, パラメータ Z は 融合後の画像を評価する画像を撮影した時の撮影パラメータである. マザーウェーブレット t には $daubechies^4(D^4)$ を用いた. 図 4 は明度画像に対して haar や coiflet や biorthogonal ウェーブレット t や spline ウェーブレット [11] など様々なマザーウェーブレットに対して作成した WA-WBA 法の 1×1 ウィンドウ における画像融合空間である. 図からわかるように, マザーウェーブレットによりその傾向は変わらなかった. 横軸は式 (1) における q , 縦軸は式 (2) における評価値 E である図 1 は融合に用いた画像を示す. 図 1(a) の画像 *DSC_0010* は 表 1 の撮影パラメータ X を用いて撮影し, 図 1(b) の画像 *DSC_0136* は表 1 の撮影パラメータ Y を用いて撮影している. 図 2 は 表 1 の撮影パラメータ Z を用いて撮影した評価に用いた画像 *DSC_0113* である. 図 3 は画像 *DSC_0010* と画像 *DSC_0136* の融合に対する q による画像 *DSC_0131* との比較による評価に対して, (a) 色相 (b) 彩度 (c) 明度による画像融合空間を示している. 表 2 は図 3 の画像融合空間から最小値を見つけることによって得られた画像 *DSC_0010* と画像 *DSC_0136* の最適融合法における, 各 h,s,i 画像における選択された活動レベル, ウィンドウサイズ, q 値を示している. 図 5 は画像 *DSC_0010* と画像 *DSC_0136* との最適な融合法により得られた融合画像の (a) は明度画像であり, (b) は彩度画像であり, (c) は色相画像であり, (d) はカラー画像である. ガラス

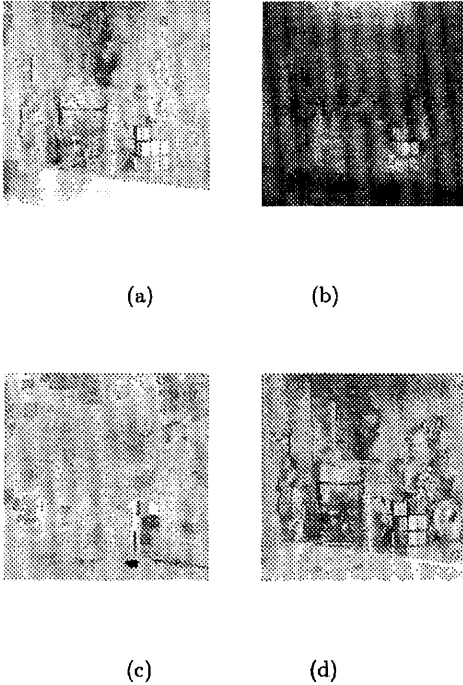


図 5: 画像融合空間を用いた最適な融合法による画像融合結果 (a) 明度画像 (b) 彩度画像 (c) 色相画像 (d) カラー画像

の内部の対象もガラスに反射した画像も比較的是っきりと確認できる。かつ図 2 に示した評価画像に近い画像になっていることが確認できる。但し最適画像の明度 I 成分には SF-WBA 法は用いない。これは WA-WBA 法より SF-WBA 法の方がエッジがぼやける傾向にあるが、 I 成分においてはその影響が無視できないためである。またウェーブレット分解レベルは 2 枚の画像の融合を最大限に実現するために、 512×512 の画像における最大のレベル 9 を用いた。

6 おわりに

従来提案されている融合方法を統合する空間にマッピングした画像融合空間を提案した。カラー画像を HSI 画像空間に変換し、画像融合空間でウェーブレット画像を融合することで最適な画像融合法を見つけ、各 HSI 画像において得られた最適な融合法を用いて画像を融合することによって、見ている画像に近いガラスの内部も反射

画像も高いダイナミックレンジで映し出されている画像を生成できることを示した。

参考文献

- [1] M.Santos et al, A New Wavelets Image Fusion Strategy, Pattern Recognition and Image Analysis, springer, vol. 2653, pp. 919-926, 2003
- [2] A. Toet, Multiscale contrast enhancement with application to image fusion, Optical Engineering, vol. 31, no. 5, pp. 1026-1031, 1992
- [3] I. De, B.Chanda, A simple and efficient algorithm for multifocus image fusion using morphological wavelets, Signal Processing, elseia, 2005
- [4] F. J.Tapiador, J. L. Casanova, An Algorithm for the Fusion of Images Based on Jaynes' Maximum Entropy Method, Int. J. Remote Sensing, 23,(4), pp. 777-785, 2002
- [5] S. G. Mallet, A theory of multiresolution signal decomposition: The wavelet representation, IEEE Trans. on PAMI, vol. 11, no. 7, pp. 674-693, 1989
- [6] S. G. Mallet, Multifrequency channel decomposition of images and wavelet models, IEEE Trans. on Acoustics, Speech and Signal Processings, vol. 37, no. 12, pp. 2091-2110, 1989
- [7] G. Pajares and J. Manuel del la Crus, A wavelet-based image fusion tutorial, pattern recognition, pp. 1855-1871, 2004
- [8] H. Wang, A New Multiwavelet-Based Approach to Image Fusion, Journal of Mathematical Imaging and Vision, 21, pp. 177-192, 2004
- [9] T. Pu, Contrast-based Image Fusion using the Discrete Wavelet Transform, Opt. Eng., 39(8), pp. 2075-2082, 2000
- [10] L. Bogoni, M. Hansen, Pattern-selective color image fusion, pattern recognition, 34, 1515-1526, 2001
- [11] S. Mallet, A Wavelet Tour of Signal Processing, Academic Press, 1998