

カラー写真プリンティング画像の  
デンシティフェリアにおける  
複雑度を考慮した濃度補正

津村徳道，名取英夫，川口隆行，羽石秀昭，三宅洋一

千葉大学 工学部 情報工学科

千葉市稲毛区弥生町1-33

**Density Failure Correction in Printing Color Negatives  
Using Complexity of Image**

Norimichi TSUMURA, Hideo NATORI,  
Takayuki KAWAGUCHI, Hideaki  
HANEISHI, Yoichi MIYAKE

Department of Information and  
Computer Sciences, Chiba University

1-33, Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba 263  
Japan

## 要旨

現在，写真プリント時の濃度補正を行う場合，ネガフィルムにおける固定領域の濃度平均，分散等をパラメータとして露光制御を行う手法が用いられている．この手法はシーンの内容を考慮していないため十分な補正を行えない事がある．本研究ではネガフィルム上の濃度変化の大きい領域を Haar 関数を用いた Wavelet 変換を用いて抽出し，画像の複雑度を定義した．ここからシーンの動的領域分割を行い濃度補正に有効なパラメータを抽出した．186枚のサンプル画像を対象とした評価実験から本提案手法の有効性が明らかとなった．

**キーワード：**露光制御，自動濃度補正，デンシティフェリア，複雑度，重回帰分析

## **Abstract**

Automatic density correction has been used to correct density failure in printing color negatives. The method, however, is not always significant to correct color balance and density since the negative density which is used to calculate the correction coefficient is only measured in several fixed regions. In this paper, a new method is introduced to correct density failure considering the scene content. The complexity of the image calculated by using discrete Wavelet transformation with Haar function was applied to segment the negative film image dynamically. The densities of those obtained regions were measured and various parameters were calculated to correct printing color negatives. It is shown that the image manipulation method proposed in this paper is effective for density failure correction of 186 sample images.

**Key words** : Exposure control, Automatic density correction, complexity, Multiple regression analysis, Density failure

## 1 . 緒言

カラー写真プリント処理では，シーンに応じて露光量やカラーバランスを制御することが必要である．露光制御の手法として LATD ( Large Area Transmittance Density ) 制御<sup>1)</sup>がある．これは全画面の平均濃度がニュートラルグレイとなるように制御を行なう方法である．しかし，ネガカラーフィルムにニュートラルグレイから偏った広い領域が存在する場合，LATD制御ではそれを打ち消す方向に強い補正がかけられるため，適切な再現画像が得られない．例えば，逆光で撮影された人物写真では，人物部分の濃度が非常に高いプリントが得られる．このような現象をデンシティブェリアと呼ぶ．

自動濃度補正は，LATD制御によりデンシティブェリアの生ずるシーンに対して自動的に補正を行ない，好ましいプリントを得る技術である<sup>2)</sup>．現在のシステムでは，Fig.1 に示すように，ネガカラーフィルムから得られた画像データを中心部分，周辺部分などの固定の領域に分割し，領域内の濃度値の平均値や分散等をパラメータとして抽出している．得られたパラメータを線形一次式に適用することにより濃度補正值を得る．しかし，この手法は分割領域が固定されているため，主要被写体の位置のあらゆる変化に対して追従した適正な補正を行うことが出来ない．主要被写体の位置に追従する手法として，主な主要被写体である人物の顔を検出する試みがなされているが<sup>3,4)</sup>，逆光，フラッシュ，フィルムの違いなどの影響を現在までのところ考慮していない．したがって，現在，それらの影響を受けず，主要被写体の位置に追従した動的な領域分割を行う手法が求められている．

本論文では，シーンの局所的な複雑度を考慮した動的

な領域分割を行うことにより，適切な濃度補正制御パラメータを抽出する手法を提案する．主要被写体の位置と局所的な複雑度の間には相関があると仮定した．濃度変化の大きさを複雑度として定義し，その複雑度に応じて動的な領域分割を行なった．次節では，従来行われている固定領域を用いた自動濃度補正について説明する．3節では，シーンの複雑度を考慮した動的な領域分割とパラメータの抽出法について，4節では，従来法と動的な領域分割に基づく手法の比較をサンプル画像を用いて行う．5節で結論を述べる．

## 2．固定領域を用いた自動濃度補正

シーン内の主要被写体部分を特定できれば，その部分が所定の濃度に仕上がるように露光制御を行うことにより，適切なプリントを得ることができる．しかし，主要被写体を自動的に特定することは困難であるため，現在の露光制御では固定領域から得られた平均や分散等のパラメータを用いた統計的手法が用いられている．

Fig. 2にパラメータを変数とした補正式の決定手順を示す．まず，サンプルシーンを多数撮影し，それぞれのシーンに対する最適露光量をネガフィルムの焼き付け判定の専門家により決定した．この時，最適濃度補正値をLATD制御時の露光量と最適露光量の比として定義する．また，ネガカラーフィルムからシーンをデジタル画像として取り込み，そのデジタル画像を形状が固定の領域に分割し，各領域ごとに平均濃度，標準偏差などの統計量を算出し， $m$ 個のパラメータを得る．これにより，デジタル画像から得られた $m$ 個のパラメータとその画像に対する最適補正値の組が多数用意されたことになる．ここで，パラメータと最適補正値の組は，回帰分析に用いる解析用の組と，得られた回帰式を評価する評

いる解析用の組と，得られた回帰式を評価する評価用の組にランダムに振り分けられる．解析用の組において， $m$ 個のパラメータの中から有効性を考慮して $n$ 個のパラメータを選択する．選択された $n$ 個のパラメータを説明変数，最適補正値を目的変数として $n$ 次元線形回帰直線として補正式を求める．得られた補正式を用いて，評価用のサンプル画像に対して濃度補正値を予測し，濃度補正式の性能評価を行う．評価結果に基づき，再びパラメータの選択を行ない補正式を決定する．以上のパラメータ選択と補正式の評価の処理を，有効な補正式が得られるまで繰り返す．

実際のプリント時には，上記で得られた補正式を用いて，ネガカラーフィルムから取り込まれたデジタル画像から得られたパラメータにより補正値を予測し，露光量を制御する．本研究では，Fig. 3に示すように，全体，周囲，中心，右上，右下，左上，左下の7つの固定領域において，各領域から各領域内の濃度の平均，濃度の標準偏差，濃度が平均より高い画素数をパラメータとして考慮した．

### 3．複雑度を用いた動的領域分割とパラメータ抽出

#### 3．1 多重解像度分解

本論文では，Haar関数を用いた離散ウェーブレット変換による多重解像度分解<sup>5,6)</sup>における1レベルだけ解像度を下げた分解結果を用いて，画像内の局所的な複雑度を定義した．以下に，多重解像度分解の処理について区間 $[0, 1]$ で与えられる離散的な関数 $f(x)$ を用いて説明する．

離散ウェーブレット変換・逆変換は次式で定義される．

$$d_k^{(j)} = 2^j \int_{-\infty}^{\infty} \overline{\psi(2^j x - k)} f(x) dx \quad (1)$$

$$f(x) = \sum_j \sum_k d_k^{(j)} \psi(2^j x - k) \quad (2)$$

$\psi(x)$ は、マザーウェーブレットと呼ばれる局在する関数であり、 $\psi(2^j x - k)$ は $\psi(x)$ を $2^{-j}k$ 平行移動し、 $2^{-j}$ 伸縮したもので、レベル $j$ のウェーブレットと呼ばれる。フーリエ変換は複素正弦関数 ( $e^{-j\omega x}$ ) を基底とした積分変換であり、特定の位置における周波数変動の解析が困難である。それに対し、ウェーブレット変換は位置的・時間的に局在した関数を基底とした積分変換であるため、位置・周波数双方の性質を得ることが出来る。

ここで、 $g_j(x)$ 、 $f_j(x)$ を式(3)(4)のように定義した場合は、それらは、式(5)の関係を持つ。

$$g_j(x) = \sum_k d_k^{(j)} \psi(2^j x - k) \quad (3)$$

$$f_j(x) = \sum_k c_k^{(j)} \phi(2^j x - k) \quad (4)$$

$$f_j(x) = g_{j-1}(x) + f_{j-1}(x) \quad (5)$$

この時、 $\phi(x)$ は、マザーウェーブレット $\psi(x)$ に対応して決められるスケーリング関数と呼ばれるものである。式(5)は、レベル $j$ の信号 $f_j(x)$ が、レベル $j-1$ のウェーブレット $\psi(2^{j-1}x - k)$ を基底とする信号とレベル $j-1$ のスケーリング関数 $\phi(2^{j-1}x - k)$ を基底とする信号に分解

されることを示している。式(5)の $f_{j-1}(x)$ を同様に分解し、これを繰り返すことにより、式(6)に示すように、信号 $f_j(x)$ の多重解像度分解が行われる。

$$f_j(x) = g_{j-1}(x) + g_{j-2}(x) + g_{j-3}(x) + g_{j-4}(x) + \dots \quad (6)$$

しかし、今回は初期実験として、式(5)の1レベルだけ解像度を下げた分解結果を信号の局所的な複雑度の定義に利用した。また、本研究では、マザーウェーブレット、スケールリング関数として式(7)(8)に示す、Haarの関数を用いた。

$$\psi(x) = \begin{cases} 1 & (0 \leq x < 0.5) \\ -1 & (0.5 \leq x < 1) \\ 0 & \textit{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

$$\phi(x) = \begin{cases} 1 & (0 \leq x < 1) \\ 0 & \textit{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

この時、特に、式(3)(4)の係数間に以下のような関係が存在する。

$$c_k^{(j-1)} = \frac{c_{2k}^{(j)} + c_{2k+1}^{(j)}}{2} \quad (9)$$

$$d_k^{(j-1)} = \frac{c_{2k}^{(j)} - c_{2k+1}^{(j)}}{2} \quad (10)$$

式 ( 9 ) は ,  $f_j(x)$  の隣り合うデータの平均から  $f_{j-1}(x)$  が得られることを , 式 ( 10 ) は ,  $f_j(x)$  の隣り合うデータの差分から  $g_{j-1}(x)$  が得られることを表している .

画像は , 2 変数関数  $f(x,y)$  で表される . ここで ,  $x,y$  は画像座標である . 縦方向 , 横方向を独立に扱うことにより , レベル  $j$  の 2 変数関数  $f_j(x,y)$  も式 ( 5 ) と同様に式 ( 11 ) のように分解される .

$$f_j(x,y) = f_{j-1}^{LL}(x,y) + g_{j-1}^{LH}(x,y) + g_{j-1}^{HL}(x,y) + g_{j-1}^{HH}(x,y) \quad (11)$$

ここで ,  $f_{j-1}^{LL}(x,y)$  は縦方向 , 横方向ともに式 ( 9 ) 式によって隣り合うデータの平均から計算された関数 ,  $g_{j-1}^{LH}(x,y)$  は縦方向の平均 , 横方向の差分から計算された関数 ,  $g_{j-1}^{HL}(x,y)$  は逆に縦方向の差分 , 横方向の平均から計算された関数 ,  $g_{j-1}^{HH}(x,y)$  は両方向の差分から計算された関数を表す .  $f_{j-1}^{HH}(x,y)$  ,  $g_{j-1}^{LH}(x,y)$  ,  $g_{j-1}^{HL}(x,y)$  ,  $g_{j-1}^{HH}(x,y)$  の展開係数をそれぞれ ,  $c_{LL,k,l}^{(j-1)}$  ( LL 成分 ) ,  $c_{LH,k,l}^{(j-1)}$  ( LH 成分 ) ,  $c_{HL,k,l}^{(j-1)}$  ( HL 成分 ) ,  $c_{HH,k,l}^{(j-1)}$  ( HH 成分 ) とした場合 , Fig. 4 に , オリジナル画像と , 各成分の画像を示す . 表示のため , 差の演算により生じる負の値は絶対値を取り正の値とした .

### 3 . 2 局所的な複雑度

多重解像度分解の 1 レベルだけ解像度を下げた分解結果において , LL 成分以外は , 絶対値が大きいほど原画像において濃度が急激に変化していることを示している . そこで , 式 ( 12 ) に示すように , 各対応する画素における LH , HL , HH 成分の和を画像内で 0 ~ 1 に正規化したものを複雑度と定義し ,  $b(k,l)$  で表す .

$$b(k,l) = \frac{(|c_{LH,k,l}^{(j-1)}| + |c_{HL,k,l}^{(j-1)}| + |c_{HH,k,l}^{(j-1)}| - B)}{A - B} \quad (12)$$

$$A = \max_{k,l} (|c_{LH,k,l}^{(j-1)}| + |c_{HL,k,l}^{(j-1)}| + |c_{HH,k,l}^{(j-1)}|)$$

$$B = \min_{k,l} (|c_{LH,k,l}^{(j-1)}| + |c_{HL,k,l}^{(j-1)}| + |c_{HH,k,l}^{(j-1)}|)$$

局所的に複雑な位置に置いて， $b(k,l)$ の値が大きくなる．

複雑度  $b(k,l)$ を閾値処理することにより複雑度の大きい画素を抽出した．この時，閾値は0.05とした．閾値処理された画像に対して，収縮処理によるノイズ除去，膨張処理による小領域の結合を行なった．Fig.5(a)(b)に，2値化された直後の画像と，その収縮・膨張処理後の結果を示す．Fig.3(b)において，白の部分を複雑領域，黒の部分を平坦領域と定義した．

複雑領域，平坦領域から抽出されるパラメータは，領域内の濃度の平均値，標準偏差，平均より濃度の高い画素数，領域内の画素数とする．また，本論文では，複雑度を2値化処理を施さずに用いた式(13)～(15)で示されるパラメータも新たに導入した．

$$B_s = \sum_k \sum_l b(k,l) \quad (13)$$

$$B_d = \sum_k \sum_l b(k,l)ND(k,l) \quad (14)$$

$$B_r = B_d / B_s \quad ( 1 5 )$$

ただし， $ND(x, y)$  は座標  $x, y$  での原画像の濃度とする． $B_s$  は画像内の複雑度の総和を与え， $B_d$  は，複雑度を重み係数とした画像内の各画素の濃度の総和を与え， $B_r$  は，複雑度で重み付けされた平均濃度を与える．

#### 4 . 提案手法と従来法の比較実験

本節では，従来の固定領域のみから抽出されたパラメータを用いた場合と，その固定領域のパラメータに，提案する複雑領域，平坦領域からのパラメータと式 ( 1 3 ) ~ ( 1 5 ) のパラメータを加えた場合について，濃度補正式の性能比較を行った．専門家による最適濃度補正值 ( - 9 9 ~ 9 9 の整数値 ) が既知であるネガカラーフィルム 1 8 6 枚をドラムスキャナ ( 阿部設計製 Model 2 6 0 5 ) により取り込み， $3 8 4 \times 2 5 6$  画素の画像データとした．

1 8 6 枚のうち 9 3 枚を解析用データとして回帰係数を決定し，残りの 9 3 枚を評価用データとして回帰式の評価を行った．サンプルは，解析用データと評価用データへ，ランダムに振り分けた．性能評価は，2 0 通りの振り分けに対する評価値の平均により行った．

抽出したパラメータには非常に相関の高いものが含まれる．実際のプリント時の高速化の為に，パラメータ数は出来るだけ少ないことが望ましい．そこで，解析時に変数増減法<sup>7)</sup>を用いて有効なパラメータの選択を行った．変数増減法の手順の概略を以下に示す．

##### 変数増減法の手順

．与えられた  $n$  個の説明変数のうち単相関係数が最大のもを選び，回帰式を求める．

．現在の回帰式において<sup>1)</sup>用いられていない残りの説

明変数から1つの変数を選択し加えることにより求められる回帰式において、寄与率の増加が最大の変数を選択する。選択された変数を加えた回帰式における残差分散と、加えない回帰式における残差分散の間での分散分析に基づき、選択された変数を取り込むことが有効と判断された場合は、その変数を取り込む。

・現在の回帰式で用いられている説明変数から1つの変数を除いた場合に、寄与率の減少量が最小の変数を選択する。選択された変数を除いた回帰式における残差分散と、除かない回帰式における残差分散の間での分散分析に基づき、選択された変数を除くことが有効と判断された場合は、その変数を除く。

・選択された説明変数に変動がなくなるまで、手順を繰り返す。

以上の変数増減法の結果、固定分割領域におけるパラメータ(21個)のみからは9個のパラメータが、固定分割領域および提案する複雑領域、平坦領域からのパラメータと複雑度を考慮したパラメータを加えたパラメータ(計32個)からは12個のパラメータが選択された。この時、提案するパラメータで選ばれたのは、複雑領域における平均濃度より高い濃度値の画素の数、平坦領域における濃度の平均値、式(3)で示されるパラメータの3つであった。得られた回帰式を評価用の93枚のデータを用いて評価した結果をTable 1に示す。回帰式による予測値が最適濃度補正值 $\pm 15$ の時(補正值+10は露光量15%増に対応する)、制御が成功していると定義した。従来法である固定分割領域法と比較し、提案法では平均二乗誤差(RMS)、成功率の双方において向上が見られた。Fig.6に、提案法において制御が成功して

いるシーンの内，従来法に比べてRMSの減少が大きい順に2シーンを示した．また，それらの領域分割画像も示した．ともに同一の場所で撮影されたシーンであった．領域分割結果より，顔，机，椅子などの主要被写体が抽出されているのが分かる．これにより，複雑度をもとに抽出したパラメータが，濃度自動補正に有効であることが分かった．

## 5．まとめ

シーンの内容に応じた自動濃度補正のために，画像の複雑度を考慮した制御パラメータを提案した．186枚の画像を用いた実験から提案法が露光制御に有効であることがわかった．今回実験に用いた画像は数が少なくシーンも限られているため，今後はより多くのシーンに対し本手法が有効であるかどうかを検証する必要がある．また，本論文で定義した複雑度は，画像の多重解像度分解の第一段階のみを用いたものであり，エッジ抽出を行っただけに過ぎない．シーンの複雑度をシーンの持つ主観的な情報量と考えた場合，濃度補正值と各解像度の画像の特徴の相関関係を調査した上で，より多重解像度分解を有効に活用した手法の開発が望まれる．

## 謝辞

研究にあたりサンプル画像の提供や御助言を頂きました，コニカ株式会社の佐藤恭彰氏，紀太章氏，斉藤剛氏に心より感謝致します．

## 参考文献

- 1) R. W. G. Hunt, "SPSE Handbook of photographic science and engineering" 1st ed. ed by Woodlief Thomas, Jr., John Wiley & Sons, New York, 1929, p.462
- 2) 紀太章, 佐藤恭彰, "写真プリントにおける新しい露光制御," ディスプレイ アンド イメージング, 4, pp.279-288 (1996).
- 3) Demas Sanger, Hideaki Haneishi, and Yoichi Miyake, "Method for light source discrimination and facial pattern detection from negative color film," J. Imaging Sci. Technol., 39, 2, 166(1995)
- 4) Demas Sanger, Yoichi Miyake, Hideaki Haneishi, and Norimichi Tsumura, "Algorithm for face extraction based on lip detection," J. Imaging Sci. Technol., 41, 1, 71(1997)
- 5) Stephane G. Mallat, "Multifrequency channel decompositions of images and wavelet models," IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing, 37, 12, 2091(1989).
- 6) 榊原進, "ウェーブレット ビギナーズガイド," 東京電機大学出版局, 東京, 1995, p.29.
- 7) 奥野忠一, 久米均, 芳賀敏郎, 吉澤正, "多変量解析法," 日科技連, 東京, 1971, p.139.

## 図の説明

Fig.1 Schematic diagram of automatic density correction

Fig.2 Development of algorithm for automatic density correction

Fig. 3 Fixed region considered in this paper

Fig.4 Multi-resolutional image decomposition:  
First step

Fig. 5 Extraction of complex region

Fig. 6 Sample scenes whose density is corrected effectively by proposed image manipulation method, and their segmented images