

ウェーブレット変換を用いた画像のコントラスト強調

黒川, 真耶 / OGAWA, Koichi / Kurokawa, Maya / 尾川, 浩一

(出版者 / Publisher)

電子情報通信学会情報・システムソサイエティ

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

電子情報通信学会論文誌. D-II, 情報・システム, II-パターン処理 / 電子情報通信学会論文誌. D-II, 情報・システム, II-パターン処理

(号 / Number)

11

(開始ページ / Start Page)

2084

(終了ページ / End Page)

2088

(発行年 / Year)

2004-11-01

研究速報

ウェーブレット変換を用いた画像のコントラスト強調
黒川 真耶[†] (学生員) 尾川 浩一^{†a)} (正員)

Contrast Enhancement of Images with a Wavelet Transform

Maya KUROKAWA[†], Student Member and
Koichi OGAWA^{†a)}, Member

[†] 法政大学大学院工学研究科, 小金井市

Graduate School of Engineering, Hosei University, 3-7-2

Kajinocho, Koganei-shi, 184-8584 Japan

a) E-mail: ogawa@k.hosei.ac.jp

あらまし 本論文では、離散ウェーブレット変換を用いて画像をサブバンドに分解し、サブバンドごとに变化する重み付けの後、逆ウェーブレット変換することにより、画像のコントラストを強調する手法を提案する。

キーワード コントラスト強調, ウェーブレット変換, 重み付け, 画像処理

1. ま え が き

画像のコントラストを強調するための方法として、ヒストグラムを操作する Histogram Equalization (HE) [1] 法がある。この方法は画像の濃度値の出現頻度をできる限り均等にすることで、コントラスト強調を行うものであるが、強調の度合は対象領域の大きさや、ヒストグラムに大きく依存する。強調に局所性を与え、同時に過度の強調を抑制するため Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE) [2] が提案されたが、抑制のために用いられるクリッピングの値を画像依存で設定する必要がある。これに対し、ウェーブレット変換によって抽出された画像の濃度こう配 [3] 情報を用いたコントラスト強調法 [4]~[8] も提案され、良好な結果を得ている。文献 [4] の手法は画像を多重解像度分解し、多重解像度こう配の局所的最大値を求め、それに重み付けをして強調を行うものであるが、処理が複雑である。また文献 [5] の手法は、1より小さい係数を低周波成分に掛けることにより、高周波成分のパワーを相対的に上げ、強調を行うものである。この方法で細かい特徴は強調できるものの、画像全体としての広い濃度範囲のコントラストは適切になっていない。また、文献 [6]~[8] の手法は、まず画像を多重解像度分解し、すべてのサブバンドの各々の係数の値に非線形の加重をかけることで係数値を伸縮させ、それを新たなサブバンドの値とするものである。この手法を用いると、画像によっては過度な強調が生じ、画質が低下するという欠点がある。

本研究ではウェーブレット変換を用いたコントラスト強調法に関して、前述した欠点を改善する新しい手法を提案する。

2. 提案手法

2.1 濃度値のシフト

ダイナミックレンジを有効に使用し、適正にコントラスト強調を行うためには、画像の平均濃度が濃度階調の中央にあることが望ましいと考える。そこで、まず、前処理として原画像の平均濃度値をグレーレベルの中央にシフトする。なお、ここでは濃度階調が 8 bit (256 階調) の画像を扱うものと仮定する。今、 $M \times M$ 画素の原画像の濃度値を $f(x, y)$ とすると、シフトする値 (*offset*) は

$$offset = 128 - \frac{1}{M^2} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^M f(x, y) \quad (1)$$

として与えられ、シフト後の画像 $\hat{f}(x, y)$ は

$$\hat{f}(x, y) = f(x, y) + offset \quad (2)$$

となる。ただし、 $\hat{f}(x, y) < 0$ のときは $\hat{f}(x, y) = 0$ 、 $\hat{f}(x, y) > 255$ に対しては $\hat{f}(x, y) = 255$ とする。

次に $\hat{f}(x, y)$ をウェーブレット変換を用いてサブバンドに分解する。画像の濃度こう配情報は高周波成分に含まれているので、これを操作することでコントラストの強調を行う。本研究ではコントラスト強調を実現するために、式 (3) のようにレベル j のサブバンドの高周波成分に重み $\alpha(j)$ を付けて再構成を行った。この重みの値をレベルごとに変えることで強調の度合を制御する。

$$s_{M,M}^{(j)} = \sum_k \sum_l [p_{M-2k} p_{M-2l} s_{k,l}^{(j+1)} + \alpha(j) p_{M-2k} q_{M-2l} w_{k,l}^{(j+1,h)} + \alpha(j) q_{M-2k} p_{M-2l} w_{k,l}^{(j+1,v)} + \alpha(j) q_{M-2k} q_{M-2l} w_{k,l}^{(j+1,d)}] \quad (3)$$

ここで $s_{k,l}^{(j+1)}$ はウェーブレット変換後の低周波成分の展開係数、 $w_{k,l}^{(j+1,h)}$ 、 $w_{k,l}^{(j+1,v)}$ 、 $w_{k,l}^{(j+1,d)}$ は高周波成分で p はスケール関数の数列、 q はウェーブレットの数列である。 h 、 v 、 d はそれぞれ横方向、縦方向、縦横両方向へのウェーブレットの作用を意味する。本研究では、Daubechies ($N = 2$) を基底とするウェーブレット変換を用いた。

2.2 重みの自動設定

ここでは高周波成分に付ける重みを自動的に設定

する手法を述べる. まず, 重み $\alpha(j)$ とヒストグラム
の関係について述べる. 図 1 (a) は図 3 (c) の原画像
の濃度レベルをシフトした画像の濃度ヒストグラム
である. また, (b) はレベルシフト後の画像に対し,
 $\alpha(1) \sim \alpha(8) = 2$ として, 式 (3) で強調した画像の濃
度ヒストグラムである. 両者を比較すると, (b) は (a)
に比べて濃度レベル 128 を中心にほぼ 2 倍に広がっ
て分布していることが分かる. つまり, $\alpha(j)$ の値を
 j によらず同一の値にして強調を行うと, 重みの大き
さに比例して濃度値の範囲が拡大することが推測され
る. ところが $\alpha(j)$ を余り大きくすると, 濃度値 0~
255 の範囲から外れる (以後, スケールアウトと呼ぶ
ことにする) 画素が多くなり, 好ましくない. そこで,
スケールアウト画素数の全画素数に対する割合から自
動的に最適な重みを設定する手法を考案した. 具体的
には, 次の手順で基準となる重み $\alpha_0 (= \alpha(1))$ の値を
決める.

まず, $\hat{f}(x, y)$ から濃度ヒストグラム $h(i) (i = 0 \sim 255)$ を作る. そして, 累積濃度ヒストグラム

$$C_l(i_l) = \sum_{k=0}^{i_l} h(k) \quad (4)$$

$$C_h(i_h) = M^2 - \sum_{k=0}^{i_h} h(k) \quad (5)$$

を求める. スケールアウトの割合を $\beta (0 \leq \beta < 1)$ と
すると, $M^2\beta$ 個の画素がスケールアウトすること
になる. そこで,

$$M^2\beta \cong C_l(i_l) + C_h(i_h) \quad (6)$$

となる i_l 及び i_h の値を, i_l についてはその値を 0 から 1 ずつ増加させ, 一方, i_h については 255 から 1 ずつ減少させていく操作を同時に行って求め,

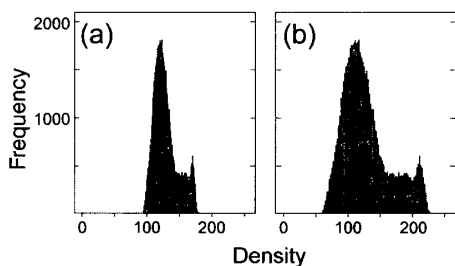


図 1 濃度ヒストグラム: (a) 原画像, (b) すべてのサブ
バンドを重み 2 で強調した画像

Fig. 1 Gray level histograms: (a) original image, (b)
image enhanced with $\alpha(1) \sim \alpha(8) = 2$.

$$\alpha_0 = \frac{256}{i_h - i_l} \quad (7)$$

として α_0 を決める.

サブバンドごとの $\alpha(j)$ を変化させるとコントラス
トの強調のされ方も異なるので, 式 (9) を用いてレ
ベルごとに重みを α_0 から線形的に変化させ (図 2), 重
みを変化させなかった場合 (式 (8)) との比較を行っ
た. 式 (9) では $\alpha(8) = 1$ とし, レベル j のサブバ
ンドの重み $\alpha(j)$ の値を線形的に変化させている.

$$\alpha(j) = \alpha_0 \quad (8)$$

$$\alpha(j) = \frac{1}{7} \{ (1 - \alpha_0)j + (8\alpha_0 - 1) \} \quad (9)$$

3. シミュレーション結果と考察

本手法の有効性を検証するためにシミュレーション
を行った.

3.1 重み関数による違い

用いた画像は図 3 に示すように (a) aerial, (b)
tank2, (c) road1 (以下, 画像はすべて 256×256
画素, 256 階調の標準画像) である. スケールアウト
の割合は, レベル 1 から 8 まで重みが均一であるとき
に 20% となるように設定し, 重みは式 (8) のように全
レベルにおいて均一な場合と式 (9) を用いてレベルご
とに変化させた場合とを比較した. 図 3 は A: 原画像,
B: 重み均一で処理した画像, C: 重みを変化させて処
理した画像と, それらの濃度ヒストグラムである. 濃
度ヒストグラムにおいては, 原画像と処理画像で縦軸
となる頻度を同じスケールで表示しているため, 0 ま
たは 255 のグレーレベルの頻度が表示範囲を超えてい
るものがあることを付記しておく.

図 3 において, 重みを均一にした場合と変化させ
た場合の強調画像を比較してみると, 重みを変化させ
た場合の方が階調表現性に優れていて, 適切にコント
ラストが強調されていることが分かる. また, 重みを
均一にした場合の濃度ヒストグラムは, 重みの大きさ

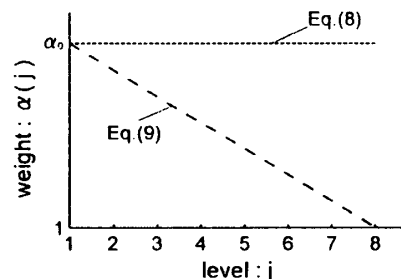


図 2 重み関数

Fig. 2 Weighting functions.

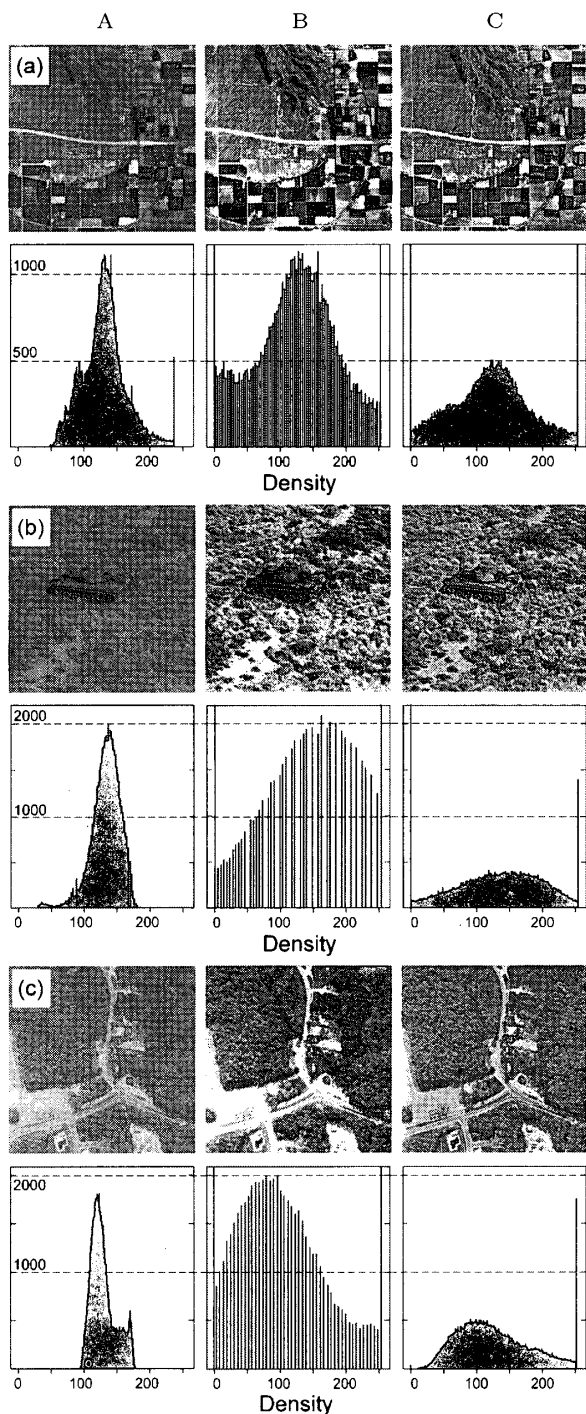


図3 重み関数の比較: (a) aerial, (b) tank2, (c) road1 (A: 原画像, B: 均一重み, C: 線形重み)

Fig. 3 Effect of weighting functions: (a) aerial, (b) tank2, (c) road1 (A: original image, B: with a uniform weight, C: with nonlinear weights).

の分だけ濃度レベル間隔が空いた濃度ヒストグラムとなっている。ところが、重みをレベルごとに変化させると複数の濃度レベルが使われることになり、スケールアウトを抑えつつ、細かい特徴まで適切に強調できたと考える。よって、この図から重みの値はレベルご

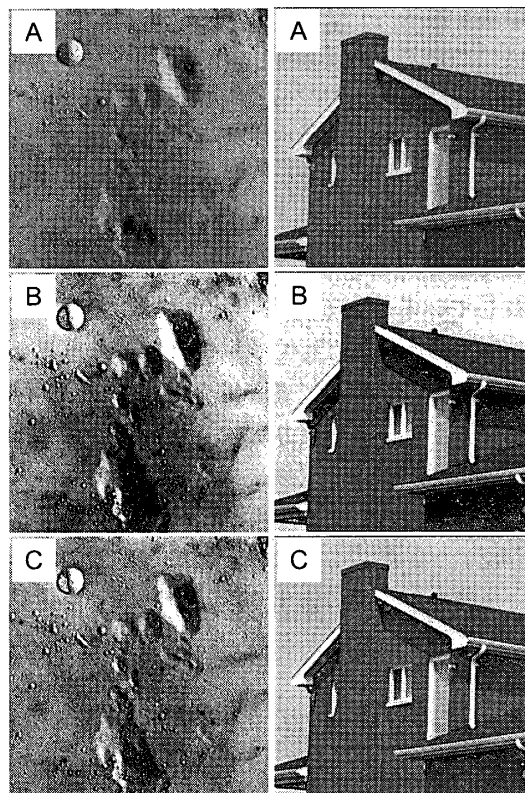


図4 重みの関数の選択: A: 原画像, B: 式 (8) による処理画像, C: 式 (9) による処理画像

Fig. 4 Selection of weighting functions: A: original image, B: processed with Eq. (8), C: processed with Eq. (9).

とに変化させた方が良いことが分かる。なお、ここではスケールアウトする画素数は、重みを一定にした場合に 20%となるように設定しているが、提案手法の場合は重みの値がレベルごとに変化するので最終的には (a) 9.3%, (b) 8.9%, (c) 4.1%となっている。また、求められた α_0 の値は (a) 3.0, (b) 4.5, (c) 5.4 となった。図 4 は 2 種類の画像 (左列: moon, 右列: house2) について、スケールアウトの割合を 10%と設定してシミュレーションを行った結果であり、A: 原画像, B: 式 (8) で処理した画像, C: 式 (9) で処理した画像を示す。左列の画像 moon については、重みを均一にして処理した場合の B において、スケールアウトが目立つ。これは前述したように、重みを均一にして処理を行うと、とりうる濃度値の範囲は広がるが、選択される濃度レベルが限定されてしまうためである。これに対し、式 (9) を用いて処理した結果 C はスケールアウトを抑えつつ、細かい特徴までよく強調されていることが分かる。しかし、画像 house2 については、上部の空の部分でアーチファクトが発生している。この対処については次節で述べる。なお、この

シミュレーションでは、画像全体の平均濃度値が 128 になるように設定したが、この値を変更することで画像中のある特定の濃度値の部分を中心に適切に強調することもできる。また、 β の値についても、より適切なコントラストを得るためには、変更する方が好ましい場合がある。

3.2 画像の特徴判別

図 5 は、図 4 の house2 の画像について、原画像 (a) の右上 1/4 の領域を拡大して、空と屋根の境界部分等で発生するアーチファクトを見やすくしたものである。図 4 と同様に 2 種類の重み関数で処理した結果である。このような画像は重みを均一にすることで、アーチファクトの発生を抑制できるので、処理対象となる画像の特徴を判断し、重み関数を切り換える必要がある。画像 house2 は、低周波成分が比較的多く、高周波成分が少ないという特徴があるので、画像中に含まれる低周波成分に対する高周波成分の割合を重み関数選択のための目安とした。また、画像によってはそれだけではうまく判別できないものもあったため、更に累積濃度ヒストグラムから得られる情報を用いた判別を付加した。

具体的には、まずウェーブレット変換によって画像を多重解像度分解する。次に、各々のレベルで低周波成分の絶対値の和に対する高周波成分の絶対値の和の割合を算出する。この割合が一定値以下のものについ

ては累積濃度ヒストグラムの最大傾斜を求め、この値が基準値よりも大きい場合にのみ重み関数を均一とし、それ以外は式 (9) を用いたコントラスト強調を行うこととした。本論文では紙面の関係上、処理したすべての標準画像を提示し、上記の根拠を述べる事ができないので、処理画像の代表例を図 6 に示し説明する。アーチファクトが発生した (a) house2, (b) gray3, (c) gray21 の低周波成分に対する高周波成分の割合は、レベル 1 において、それぞれ 0.05, 0.03, 0.009 であった。また、アーチファクトが発生しなかった (d) aerial, (e) bark, (f) house1, (g) moon, (h) pentl の割合はそれぞれ、0.08, 0.12, 0.10, 0.06, 0.08 であった。これより、0.05 というしきい値で重みの付け方を変えれば、アーチファクトを発生させることなくコントラスト強調ができると考えられる。ただし、(i) road1 においてはアーチファクトの発生がなかったにもかかわらず、0.03 という値となった。そこで、0.05 よりも小さい値となった画像 ((a) house2, (b) gray3, (c) gray21, (i) road1) について、原画像が特定の画素値を多く含んでいるかどうかを累積濃度ヒストグラムから調べた。その結果、累積濃度ヒストグラムの傾きが最も大きい部分で、(a) house2: 1729, (b) gray3: 41961, (c) gray21: 3182, (i) road1: 186 となった。これより明らかに (i) road1 は傾きが小さいことが分かる。つまり、他の三つの画像に比べると濃度ヒストグラム中に目立ったピークがないので、アー

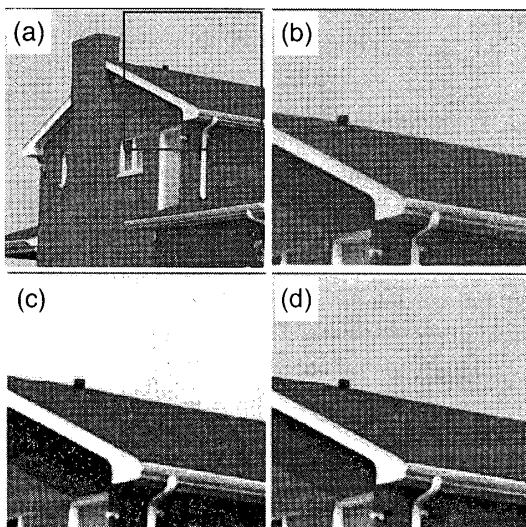


図 5 アーチファクトの発生：(a) 原画像，(b) 原画像の一部の拡大図，(c) 式 (8) による処理画像，(d) 式 (9) による処理画像

Fig. 5 Generation of artifacts: (a) original image, (b) enlarged image, (c) processed with Eq. (8), (d) processed with Eq. (9).

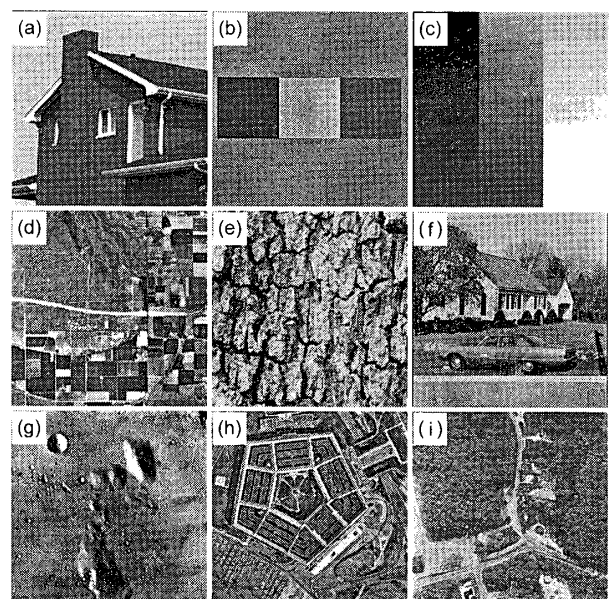


図 6 評価に用いた処理画像の例
Fig. 6 Images processed with our method.

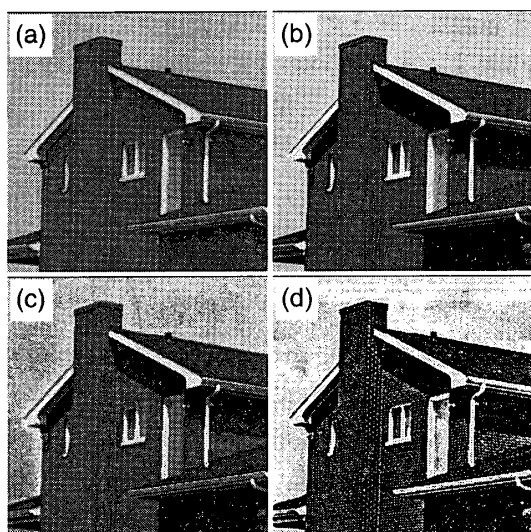


図7 他の手法との比較：(a) 原画像，(b) 提案手法，(c) HE，(d) 文献[7]の手法

Fig. 7 Comparison with the other contrast enhancement methods: (a) original image, (b) proposed method, (c) HE, and (d) method in literature [7].

チファクトが生じる可能性が低いということである。よって、レベル1の高周波成分の割合(0.05)と累積濃度ヒストグラムの最大傾斜(例えば500)から、加重関数の形を切り換えることでその画像に合った適切なコントラスト強調ができると考えられる。更に、本論文では詳細を述べないが、レベルの増加に伴って加重を変化させる際、非線形的に変化させても、ほぼ同様の結果が得られることを付記しておく。

3.3 他の手法との比較

コントラスト強調に用いられる他の手法と提案する手法とを比較した。ここでは前述した手法[7]について簡単に述べる。まず、ウェーブレット変換を用いて画像をサブバンドに分解する。次に、すべてのサブバンドに対して次の式を用いてその係数値を変換する。

$$y = -m \cdot (-x/m)^p \quad (x < 0) \quad (10)$$

$$y = m \cdot (x/m)^p \quad (x \geq 0) \quad (11)$$

ここで、 x は変換前の係数値、 y は変換後の係数値、 m はウェーブレット展開係数の最大値を表している。 $p(0 < p < 1)$ は強調の度合であり、この値を小さくすればするほど強調される。シミュレーションでは、文献[7]の推奨値 $p = 0.7$ を用いた。最後に、逆ウェーブレット変換によってコントラストの強調を行う。図7に house2(256 × 256)を用いた結果を示す。HEと文

献[7]の手法はともに、空のような濃度値の変化の小さい部分で雑音を強調しすぎる傾向があり、全体の画像の質感が低下している。これらに対して、提案手法は雑音を強調することなく、その上画像全体の質感も保ちつつ強調していることが分かる。また、HEは一度強調してしまうともとの画像を得ることができないが、提案手法では、再度ウェーブレット変換を行い、掛けた重みの逆数を掛け再構成することで、スケールアウトした画素以外については強調する前の画像と同じものを再構成できるというのも大きな特徴である。

4. むすび

画像をウェーブレット変換し、その高周波成分に画像の特徴に応じてレベルごとに变化する重みを付けてコントラストを強調する手法を提案し、その有効性を示した。また、本手法は従来手法のHEやウェーブレット変換を用いた他の手法で発生するノイズや過度の強調を抑え、画質を保ちつつ、その画像にあったより適切な強調を行えることが分かった。

文 献

- [1] W.K. Pratt, Digital image processing, John Wiley & Sons, New York, 1978.
- [2] S.M. Pizer, E.P. Amburn, J.D. Austin, R. Cromartie, A. Geselowitz, T. Greer, B.H. Romeny, J.B. Zimmerman, and K. Zuiderveld, "Adaptive histogram equalization and its variations," *Comput. Vision Graph Image Process*, vol.39, pp.355-368, 1987.
- [3] S.G. Mallat and S. Zhong, "Characterization of signals from multiscale edges," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol.14, no.7, pp.710-732, 1992.
- [4] J. Lu, D.M. Healy, Jr., and J.B. Weaver, "Contrast enhancement via multiscale gradient transformation," *IEEE Int'l Conf. Image Process (ICIP)*, pp.482-486, 1994.
- [5] J.J. Heine, S.R. Deans, D.K. Cullers, R. Stauduhar, and L.P. Clarke, "Multiresolution statistical analysis of high-resolution digital mammograms," *IEEE Trans. Med. Imaging*, vol.16, no.5, pp.503-515, 1997.
- [6] P.P. Vuylsteke and E.P. Schoeters, "Method and apparatus for contrast enhancement," *United States Patent*, no.5467404, 1995.
- [7] W. Ito, "Method and apparatus for enhancing contrast in images by emphasis processing of a multiresolution frequency band," *United States Patent*, no.5960123, 1999.
- [8] K.V. Velde, "Multi-scale color image enhancement," *IEEE Int. Conf. Image Process (ICIP)*, vol.3, pp.584-587, 1999.

(平成16年2月26日受付, 6月10日再受付)