

ライン長に基づく画像鮮鋭化の最適化

Optimal Image Sharpening Based on Line Length

小林 達矢†
Tatsuya Kobayashi田島 譲二†
Johji Tajima

1 まえがき

近年、コンピュータとデジタルカメラの普及により、誰でも手軽に写真を撮影・印刷することが可能となった。そのため、個人が大量の画像を扱うことも少なくない。そのような中、撮影された画像はその際の撮影条件などにより、常に十分な画質が得られるわけではない。したがって、大量の画像を、その個々の内容に応じて自動的に画像補正を行い、高画質化する技術が求められている。それらの処理の代表的な手法には、明度変換によるコントラスト強調、雑音を除去する平滑化、エッジを強調する鮮鋭化などが存在する。

ここでは主に、画像印刷で用いられる鮮鋭化について述べる。印刷製版の分野では、古くからアンシャープマスクを利用した鮮鋭化が行われている[1]。本論文では、これをデジタル化したアンシャープマスキングによる鮮鋭化処理を考える。式(1)はその処理を行なう代表的なものである。

$$g(i, j) = f(i, j) + m \cdot (f_{G1}(i, j) - f_{G2}(i, j)) \quad (1)$$

ここで、 $f(i, j)$ は原画像、 $f_{G1}(i, j)$ 、 $f_{G2}(i, j)$ は原画像をそれぞれ σ の小さい、又は、大きいガウス関数でぼかしたものの、 m は鮮鋭化強度、 $g(i, j)$ は処理結果画像である。また、 i と j はそれぞれ、画素の横方向及び縦方向の画素位置を示す。

鮮鋭化処理の最適な強度 m は、画像の対象により異なっており、人工物では適正な処理でも、自然物では自然物らしさが失われてしまうことが多い。そのために、最適な強度で画像を鮮鋭化するには画像の対象が人工物であるか自然物であるかを自動的に識別する手法が研究され、高い精度でその識別が可能となってきた[2]。この手法はつぎのようなものである。

画像からラインの抽出し、その長さを調べる。そしてライン長を基にした特徴量 X を式(2)で決定する。

$$X = \frac{L_n}{L_m} \quad (2)$$

ここで、 L_n はライン長が 7~20 の短いラインに含まれる画素数、 L_m は 7 以上の全ラインに含まれる画素数である。この手法によれば、画像の対象が自然物と人工物に識別され、それぞれの画像に応じた最適な鮮鋭化処理を行える。しかし、この手法は、それぞれの画像を自然物あるいは人工物に識別するので、1つの画像内に自然物と人工物が同時に存在する画像に対して最適な処理を行うことは難しい。

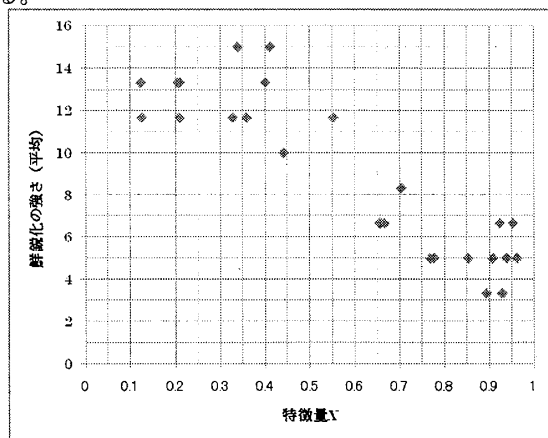
そこで、どのような画像に対しても最適な鮮鋭化を行うにはどうしたらよいかを考える。人工物と自然物の最適な鮮鋭化強度は異なると書いたが、必ずしもそうとは限らない。例えば、植物の中でも人工物の様にきれいな直線や曲線で構成されているものも存在する。そういっ

たものに対しては、人工物と同様の処理が好まれることが多い。これより、自然物や人工物に対しそれぞれ最適な処理が存在するのではなく、画像自体に、最適な処理を行うための情報が存在していると考ええる。

本研究では[2]で定義された特徴量 X に着目し、画像ごとの最適な鮮鋭化処理を行う方法を提案する。[2]では、この特徴量やその他の情報により、自然物か人工物かの判断を行うのだが、本研究ではこの特徴量が最適な鮮鋭化強度と関連があるのではないかと考え、調査を行った。内容は、主観評価により最適な鮮鋭化強度 m を求め、その強度と特徴量 X とを比較するというものである。

図1は、その結果である。デジタルカメラで撮影した様々な対象の画像25枚について m を四段階に変化させて鮮鋭化処理を行い、3名の評価者によってどれが最も高品質であるかの主観評価を行った。その結果と画像ごとの特徴量 X の相関係数を求めると、 -0.895 となり、非常に高い負の相関関係があることがわかった。特徴量 X はラインの長短情報からなる値である。すなわち、ラインの長短を参考に鮮鋭化を行うことにより、ほとんどの画像に対して最適である鮮鋭化を適用できる。図2と図3に画像例をしめす。図2(b)は同図(a)の人工物画像に対し $m=15$ で鮮鋭化したものであり、くっきりした画像となりよい評価が得られるが、図3(a)の自然物画像に対して、同じ強度で鮮鋭化すると、同図(b)のように植物らしさを失った不自然な画像となり、良い評価が得られない。なお、本論文において、鮮鋭化の画品質評価は、ディスプレイ上のもではなく、印刷したものに対する評価である。その際の解像度は 300dpi としている。図2、図3は、この論文を A4 で印刷すると正しく評価できるが、データサイズの関係上、多少劣化している。

本研究は、そのようなライン長を用いて、種々の対象を含む画像に対しても、適応的に鮮鋭化する手法を提案する。

図1 特徴量 X と最適な鮮鋭化強度の相関

†名古屋市立大学大学院システム自然科学研究科



(a)



(b)

図2 人工物画像での処理



(a)



(b)

図3 自然物画像での処理

2 ライン長に基づく鮮鋭化手法

2.1 ライン長による鮮鋭化強度の制御

図1のように、 X と m に負の相関があるということは、特徴量 X が小さいほど強い鮮鋭化を適用するのが好ましいということである。このとき、 X は画像の7~20のライン長が短いものの割合である。つまり、短いライン部分は強い鮮鋭化が好まれず、逆に長いライン部分は強い鮮鋭化が好まれると言える。そこで、通常の鮮鋭化のように、対象の画像に対し一様の強さで鮮鋭化するのではなく、必要に応じて画素ごとの鮮鋭化の強さを変化させる。すなわち、短いラインの周辺はあまり鮮鋭化を適用せず、長いラインの周辺には強い鮮鋭化を適用する。

ラインの抽出方法は「付録」で述べているが、本論文で扱っているラインはエッジのある画素の空間分布の第1主成分なので、画素自体には対応していない。しかし、そのラインを構成する情報は画素に対応しているので、実際の画像での画素位置はそれを利用する。

まず、短いラインは鮮鋭化の必要があまりないため、長いライン(20画素より長い)の周辺のみ鮮鋭化を行うことを考える。このとき、画素ごとの鮮鋭化強度は式(3)で求められる。

$$m_1(i, j) = \begin{cases} m_{\max} & (D_l(i, j) \leq L) \\ m_{\min} & (D_l(i, j) > L) \end{cases} \quad (3)$$

ここで、 $m_1(i, j)$ は式(1)の m と同じ鮮鋭化強度であるが、画素毎に変化するため位置の関数(強度マスク)となっている。ここで $m_{\max}$ は最大鮮鋭化強度、 $m_{\min}$ は最小鮮鋭化強度とする。

このとき、 $D_l(i, j)$ は長いラインまでの最短距離、 L はラインの存在が鮮鋭化強度に影響する距離であり、ここでは10としている。この鮮鋭化強度マスクにより、長いラインの周辺に鮮鋭化を適用することができる。

このように画素毎に定まる鮮鋭化強度を用いて画像の鮮鋭化を行った。ほとんどの画像については、この処理により適度な鮮鋭度の画像が得られることが分かった。

2.2 問題点と改善手法

しかし、上記の手法を図4(a)の画像に適用した場合、次のような問題が生じた。図4(b)は、原画像の一部を拡大したものである。この場合、建築物の向こう側に林が存在する。その部分が、建築物の境界である長いラインのそばに存在する。そのために、林の木々にも強い鮮鋭化が適用され、その部分で不自然感が発生している。これは、図5(a)に描いているように長いラインと短いラインが接しており、同図(b)のように短いラインが鮮鋭化強度の強い領域に存在する場合に起こっている。

この問題を解決するために、手法を次のように改善する。短いライン(長さ7~20画素)の周辺は弱い鮮鋭化、長いラインの周辺は強い鮮鋭化を行うように、強度マスクを式(4)のように改訂する。

$$m_2(i, j) = \begin{cases} m_{\max} & (D_l(i, j) \leq D_s(i, j) \text{かつ} D_l(i, j) \leq L) \\ m_{\min} & (D_l(i, j) > D_s(i, j) \text{又は} D_l(i, j) > L) \end{cases} \quad (4)$$

ここで $D_s(i, j)$ は短いラインまでの最短距離である。この式で強度マスクを作成すると、図5(c)の様なものとなる。しかし、この強度マスクでは、鮮鋭化を行う部分とそうでない部分の境界がはっきりしすぎているため、境

界部で不自然さが出てしまう可能性がある。そこで、鮮鋭化強度が緩やかに変化するように、 m_2 を利用し、式(5)で強度マスクを作成する。

$$m(i, j) = \begin{cases} \frac{D_{\min}(i, j)}{D_i(i, j) + D_{\min}(i, j)} \cdot m_{\max} & (m_2(i, j) = m_{\max}) \\ m_{\min} & (m_2(i, j) = m_{\min}) \end{cases} \quad (5)$$

$D_{\min}(i, j)$ は最も近い $m_2 = m_{\min}$ の値をもつ画素までの距離である。このときの強度マスクは図 5(d) のようになり、境界が緩やかに変化する形になっている。これを鮮鋭化の際、式(6)のように適用する。鮮鋭化画像 $g(i, j)$ は、

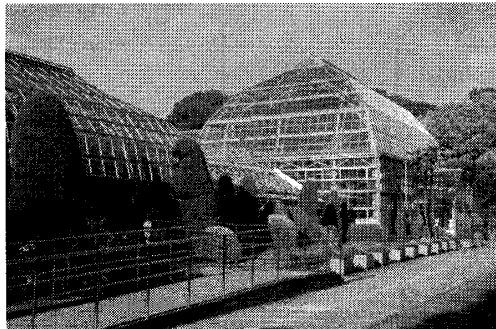
$$g(i, j) = f(i, j) + m(i, j) \cdot (f_{G1}(i, j) - f_{G2}(i, j)) \quad (6)$$

となる。ここで f_{G1} と f_{G2} は、元の画像を f とし、二次元のガウスクERNELを G 、としたとき、式(7)(8)の畳み込みで求められる。

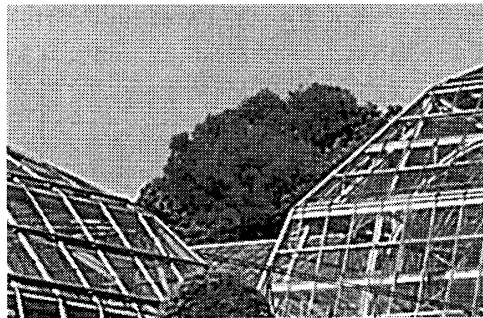
$$f_{G1} = f \otimes G \quad (7)$$

$$f_{G2} = f_{G1} \otimes G \quad (8)$$

この手法を図 4(a) の画像に適用し同図(b)と同じ位置を拡大したもの(c)を示す。



(a)

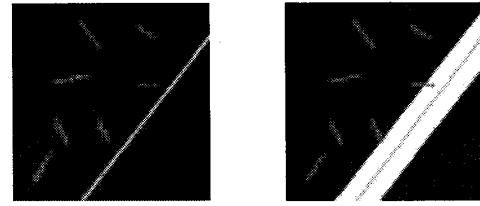


(b)



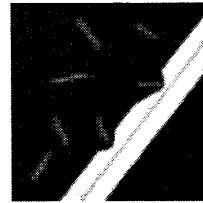
(c)

図 4 改善手法による効果

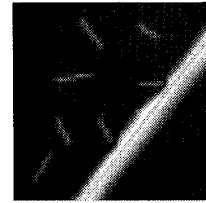


(a)

(b)



(c)



(d)

赤: 短いライン 青: 長いライン
鮮鋭化強度 [白(強) ← 黒(弱)]

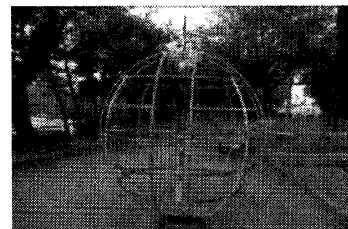
図 5 ライン長と鮮鋭化強度

3 実験結果

デジタルカメラで撮影した画像に対して提案手法で処理を行った。その際の鮮鋭化強度マスク m を求めるための最大鮮鋭化強度 $m_{\max}$ を 15、最小鮮鋭化強度 $m_{\min}$ を 5 とした。図 6(a)(b) に元画像、図 7(a)(b) に鮮鋭化マスク画像を示す。鮮鋭化マスク画像を見ると、元画像を見たときに鮮鋭化すべきだと考えられる部分、この例で言えば人工物にあたる部分のみに鮮鋭化処理がかかることになり、その他自然物にあたる、不適切な部分への過度な強度での鮮鋭化による画質劣化もなく処理されていることがわかる。実際の処理結果を図 8(a)(b) に示す。なおこの処理結果は、A4 用紙に印刷したときに、解像度 300dpi となるように想定しているため、一部の切り抜きになっている。

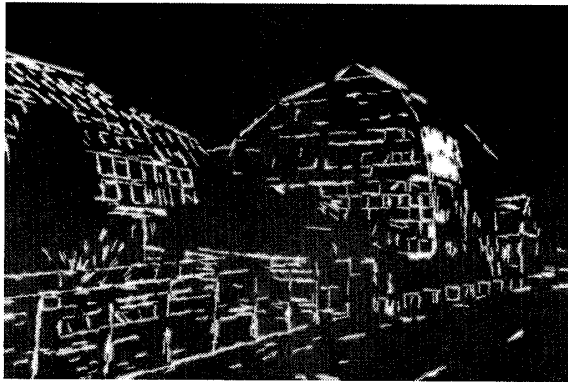


(a)

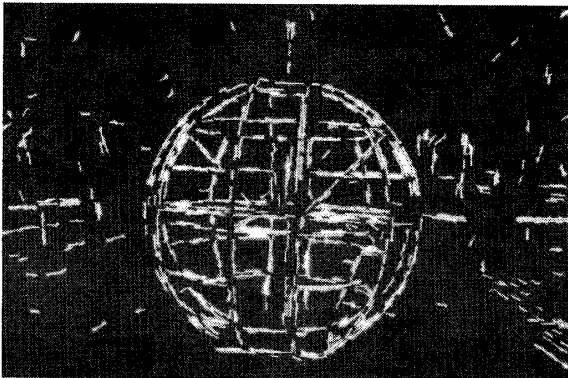


(b)

図 6 サンプル画像

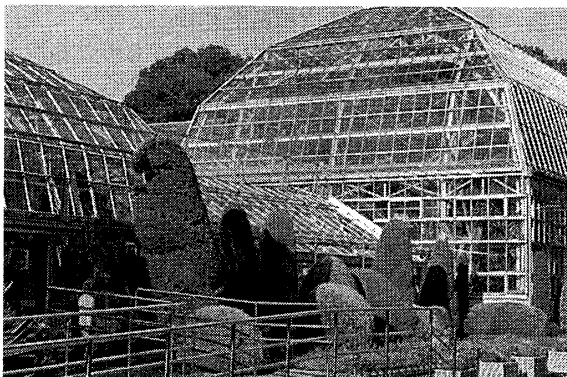


(a)

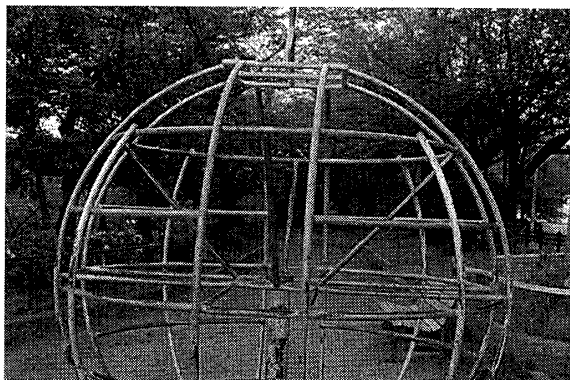


(b)

図7 鮮鋭化強度マスク



(a)



(b)

図8 処理画像の一部

4 むすび

本研究では、エッジから抽出されるライン長を参考に、鮮鋭化処理を行う手法を提案し、その効果を示した。従来では1枚の画像に対し、一様の強度で鮮鋭化処理を行うことにより、画像によっては一部画質が損なわれることがあった。しかし、そのような画像に対しても、あまり鮮鋭化すべきでない部分と、強く鮮鋭化すべき部分を自動的に識別することができ、ライン長を参考に鮮鋭化処理を行うことで、個々の画像に最適な鮮鋭化を行うことが可能となった。

謝辞

本研究活動の一部は、日本電気(株)共通基盤ソフトウェア研究所のサポートを受けている。同研究所に深く感謝する。

<参考文献>

- [1] ジョン A. C. ユール著 馬渡力・国司龍郎共訳, “カラーレプロダクションの理論”, 印刷学会出版部, pp.304-405, 1971
- [2] Johji TAJIMA and Hironori KONO, “Natural Object / Artifact Image Classification Based on Line Features”, IEICE TRANS. INF. & SYST., Vol.E91-D, No.8, pp.2207-2211, AUGUST 2008

〔付録〕 ラインの検出アルゴリズム

本論文で利用したラインの検出について説明する。

(1) 濃淡画像

デジタルカメラで撮られた画像は、R、G、Bの3原色で表わされている。この値より輝度値を求め、濃淡画像を作成する。まず、RGB表色系の各値がsRGB空間における値とし、3刺激値XYZに変換する。このY値が輝度値である。しかし、デジタル画像のRGBには、ガンマ補正がかかっており、元の画像より明るくなっている。そこで、RGBからXYZに変換する前にガンマ補正を取り除く。3刺激値XYZの輝度値Yの値を使い、濃淡画像を作成することもできるが、人が認識できるエッジをできる限り検出するように、XYZ値を均等色空間CIELABに変換して明度L*の値から濃淡画像を作成する。

(2) エッジ画像

濃淡画像からエッジ画像を作成する。エッジ検出法としては、SobelオペレータとDOG(Difference Of Gaussian)を組み合わせて検出を行う。この2つを組み合わせることで、エッジの幅が細く、ノイズの少ないエッジ画像が得られる。まず、Sobelオペレータによるエッジ画像は、濃淡画像の値 $f(i,j)$ として、Sobelオペレータ Δ_x と Δ_y とし、式(A-1)(A-2)により空間フィルタリングを行うことにより得られる。

$$g_x(i,j) = \sum_{dx=-1}^1 \sum_{dy=-1}^1 \Delta_x(dx,dy) \cdot f(i+dx,j+dy) \quad (A-1)$$

$$g_y(i,j) = \sum_{dx=-1}^1 \sum_{dy=-1}^1 \Delta_y(dx,dy) \cdot f(i+dx,j+dy) \quad (A-2)$$

そして式(A-3)より、 $g_x(i,j)$ と $g_y(i,j)$ の和の絶対値 g_{total} として、式(A-4)より、あらかじめ決めた閾値 t でエッジかどうかを判断する。エッジ画素の値は 1 とし、それ以外は 0 とする。

$$g_{total}(i,j) = |g_x(i,j)| + |g_y(i,j)| \quad (A-3)$$

$$g_s(i,j) = \begin{cases} 1 & g_{total}(i,j) \geq t \\ 0 & g_{total}(i,j) < t \end{cases} \quad (A-4)$$

次に、DOG によるエッジ画像を作成する。こちらも濃淡画像の値 $f(i,j)$ と Gaussian オペレータ G の空間フィルタリングを行う。

$$f_{G1} = f \otimes G \quad (A-5)$$

その結果に対して再度空間フィルタリングを行う。

$$f_{G2} = f_{G1} \otimes G \quad (A-6)$$

そして、その 2 つの結果の差を取る。

$$f_{DOG}(i,j) = f_{G1}(i,j) - f_{G2}(i,j) \quad (A-7)$$

この結果の値 $f_{DOG}(i,j)$ に対して、ゼロクロッシングを検出する。注目画素 (i,j) の値 $f_{DOG}(i,j)$ が 0、または注目画素の値が正で、周辺画素のうちどれかが負の場合、

$$f_{DOG}(i,j) = \begin{cases} 1 & \text{(条件i)} \\ 0 & \text{(条件ii)} \end{cases} \quad (A-8)$$

条件i: 注目画素 $f_{DOG}(i,j) = 0$ 、もしくは $f_{DOG}(i,j) > 0$ で周辺画素のどれかが負の値の場合

条件ii: 条件i以外

とする。

式(A-4) から求められる Sobel オペレータによるエッジ画像の値 g_s と式(9)から求められるエッジ画像の値 f_{DOG} から

$$g(i,j) = \begin{cases} 1 & (g_s(i,j) = f_{DOG}(i,j) = 1) \\ 0 & \text{(上記以外)} \end{cases} \quad (A-9)$$

とする。式(A-9)から求められる $g(i,j)$ がエッジ画像である。

(3) 細線化

Sobel と DOG の組み合わせより、エッジは細く検出されたがまだ幅 1 画素の線ではない。よって、後々の処理に必要なになるので、エッジの細線化を行う。エッジを見つけ次第、周辺画素の値を探索する。そして、注目画素のエッジを残すか消すかを検討する。

エッジを見つけ次第、図 A-1 のようなマスクを考える。そして、周辺の画素値を探索する。注目画素 $M(0)$ をエッジ画素として残す条件は、

- i $M(a)=1$ その他の値 0 (ただし、 $a=1\sim 8$ とする)
- ii $M(a)=M(b)=1$ その他の値 0 (ただし、 $a,b=\{1,2,\dots,8\}$ かつ $a \neq b$ とする)

とし、 $M(0)=1$ としてエッジを残す。ただし、 $a=2n$ 、 $b=2(n+1)$ の場合、 $a=n$ 、 $b=n+1$ の場合は例外としてエッジを消す。それ以外の場合、注目画素 $M(0)=0$ として、エッジを消す。

$M(1)$	$M(2)$	$M(3)$
$M(8)$	$M(0)$	$M(6)$
$M(7)$	$M(6)$	$M(5)$

図 A-1 3×3 マスク

(4) ラインの検出

最後に物体の境界線、すなわちラインの検出を行う。まず、隣接するエッジをつなげる。つなげたエッジは、以下セグメントと呼ぶ。ただし、セグメントの長さ l_{seg} が $l_{seg} < 7$ の場合、ノイズと考えて検出しないようにする。次にセグメントとセグメントをつなげ、セグメントグループを作成する。つなげるセグメント同士の距離は 2 画素以内とし、それ以上離れているものはつながらない。そして、セグメントグループからラインを検出する。ラインはセグメントグループに含まれる画素の空間的分布の第 1 主成分とする。ただし、ラインとそれに属する画素の距離は 1 画素を超えないものとする。これにより、対象画像からライン情報を検出する。