

誤差拡散法を用いた拡大ハーフトーニング

井上, 光平
九州大学大学院芸術工学研究院

原, 健二
九州大学大学院芸術工学研究院

浦浜, 喜一
九州大学大学院芸術工学研究院

<https://hdl.handle.net/2324/1961354>

出版情報 : 第33回信号処理シンポジウム講演論文集, 2018-11-08. The Institute of Electronics,
Information and Communication Engineers

バージョン :

権利関係 : ©2018 IEICE

誤差拡散法を用いた拡大ハーフトニング

Enlarging Halftoning Using Error Diffusion

井上光平, 原 健二, 浦浜喜一
九州大学大学院芸術工学研究

Kohei Inoue, Kenji HARA, and Kiichi URAHAMA
Faculty of Design, Kyushu University

アブストラクト グレースケール画像中の各画素を, 2×2 や 3×3 などの数画素からなる 2 値パターンに置き換える濃度パターン法では, 2 値パターンの大きさに応じた倍率で出力画像の大きさが変化する. 本論文では, 濃度パターン法によって拡大されたハーフトニング画像の画質を高める方法として, 誤差拡散法を用いた方法を提案する.

1 はじめに

デジタルハーフトニング [1] はデジタル画像の連続的な階調を, 離散的な階調を用いて擬似的に表現する方法の総称であり, 濃度パターン法 (density pattern method), デイザ法 (dither method), 誤差拡散法 (error diffusion method) など様々な方法が知られている [1], [2].

本論文では, 入力画像よりも画素数の多いハーフトニング画像を生成するための拡大ハーフトニング法について検討する. このような方法の 1 つに濃度パターン法 [2] がある. 濃度パターン法は入力画像の各画素に 2×2 や 3×3 といった複数の画素からなる 2 値パターンを割り当てる方法であり, 用いる 2 値パターンの大きさに応じてハーフトニング画像も拡大され, 2 値パターンが大きいほど擬似的に表現できる階調数も増える. 2 値パターンの画素数を $s \times s$ とすると, 表現可能な階調数は $(s^2 + 1)$ であり, 通常は連続階調画像の階調数よりも少ない. そのため, ハーフトニングによって階調値に誤差が生じる. そこで, その誤差を後続の画素に拡散して目立たなくする方法を提案する. グレースケール画像とカラー画像を用いた実験で, 濃度パターン法で生じる偽輪郭が提案法では目立たなくなることを示す. また, 拡大ハーフトニング画像の画質を定量的に評価する方法として, 拡大ハーフトニング画像を逆ハーフトニング [3] して元の大きさに戻し, その積分画像 [4] を入力画像の積分画像と比較する方法を提案し, 目視による評価と整合性のある評価結果が得られることを実験で確認する.

以下, 2 節では濃度パターン法において 2 値パターンをランダムに決めるランダム濃度パターン法を概説し, 3 節でランダム濃度パターン法と誤差拡散法を併用する方法

を提案し, 4 節でカラー画像への適用法を示し, 5 節で実験例を示す.

2 ランダム濃度パターン法

グレースケール画像を $F = [f_{ij}]$ ($i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$) とする. ここで $f_{ij} \in \{0, 1, \dots, 255\}$ は画素 (i, j) の値を表す. 濃度パターン法では, 各画素を $(s \times s)$ 画素の 2 値パターンに置き換えることによって, $(sm \times sn)$ 画素の 2 値画像を作る. ここでは, この s を倍率と呼ぶことにする. その際, $(s \times s)$ 画素のうち, $N_{ij} = \text{round}(s^2 f_{ij} / 255)$ 個の画素をランダムに選んで 255 (白) にし, 残りを 0 (黒) にする. ここで round は引数を最も近い整数に丸める関数である. $(s \times s)$ 画素の 2 値パターンで表現可能な階調は $\{0, 1, \dots, s^2\}$ の $(s^2 + 1)$ 階調であり, 平均画素値は N_{ij} / s^2 で与えられる.

3 誤差拡散法の併用

次に, 上記のランダム濃度パターン法と誤差拡散法を併用して, ハーフトニング画像の画質を向上させる方法を提案する. ラスタ走査の順に, グレースケール画像 F の各画素を 2 値パターンに置き換えていく. この置き換えによって生じる誤差を

$$e_{ij} = f_{ij} - \frac{N_{ij}}{s^2} \quad (1)$$

とし, これを未処理の画素に拡散する. 画素 (i, j) に隣接する未処理の画素 $(i + k, j + l)$ の画素値 $f_{i+k, j+l}$ を次式で更新する:

$$f_{i+k, j+l} \leftarrow f_{i+k, j+l} + w_{kl} e_{ij} \quad (2)$$

ここで w_{kl} は拡散係数であり, 表 1 に示した Floyd-Steinberg による係数を使用する. 表 1 中の ‘.’ は処理済みの画素を表し, ‘#’ は処理中の画素を表す. 未処理の画素に対してのみ正の値が割り当てられている.

次の画素では, 式 (2) によって更新された値に対応する 2 値パターンを用いて画素から 2 値パターンへの置き換えを行う.

表 1: 使用した誤差拡散係数 [5]

-	-	-
-	#	$w_{0,1} = \frac{7}{16}$
$w_{1,-1} = \frac{3}{16}$	$w_{1,0} = \frac{5}{16}$	$w_{1,1} = \frac{1}{16}$

以上のような処理を，ラスタ捜査の順にすべての画素について行い，拡大ハーフトーン画像を得る．

4 カラー画像への拡張

カラー画像を $F = [R, G, B]$ とする．ここで R, G, B はそれぞれ RGB のチャンネル画像であり， $R = [r_{ij}]$ ， $G = [g_{ij}]$ ， $B = [b_{ij}]$ とする．ここで r_{ij}, g_{ij}, b_{ij} は画素 (i, j) の RGB 値であり，各値は $x_{ij} \in \{0, 1, \dots, 255\}$ を満たすとする．ここで $x \in \{r, g, b\}$ である．このカラー画像 F をランダム濃度パターン法で拡大ハーフトーンする場合に，各チャンネル画像 R, G, B をグレースケール画像とみなして各々を拡大ハーフトーンし，得られた3枚のハーフトーン画像を1枚のカラーハーフトーン画像にまとめる．

誤差拡散法を併用する場合には，各画素 (i, j) の RGB カラーベクトルを $f_{ij} = [r_{ij}, g_{ij}, b_{ij}]$ とし，ラスタ捜査の順に r_{ij}, g_{ij}, b_{ij} それぞれを $s \times s$ の2値パターンに置き換えていく．2値パターンを構成する画素のうち，値を255にする個数をそれぞれ $N_{ij}^R = \text{round}(s^2 r_{ij}/255)$ ， $N_{ij}^G = \text{round}(s^2 g_{ij}/255)$ ， $N_{ij}^B = \text{round}(s^2 b_{ij}/255)$ とする．この置き換えによって生じる誤差を

$$e_{ij}^R = r_{ij} - \frac{N_{ij}^R}{s^2} \quad (3)$$

$$e_{ij}^G = g_{ij} - \frac{N_{ij}^G}{s^2} \quad (4)$$

$$e_{ij}^B = b_{ij} - \frac{N_{ij}^B}{s^2} \quad (5)$$

とし，これらをまとめたベクトルを

$$e_{ij} = [e_{ij}^R, e_{ij}^G, e_{ij}^B] \quad (6)$$

とする．この e_{ij} を次式で未処理の画素に拡散する：

$$f_{i+k,j+l} \leftarrow f_{i+k,j+l} + w_{kl} e_{ij} \quad (7)$$

次の画素では，この更新されたカラーベクトルに基づいて2値パターンへの置き換えを行う．

以上のような処理を，ラスタ捜査の順にすべての画素について行い，カラーの拡大ハーフトーン画像を得る．

5 実験例

標準画像データベース SIDBA[6] のグレースケール画像とカラー画像を対象とした実験例を示す．

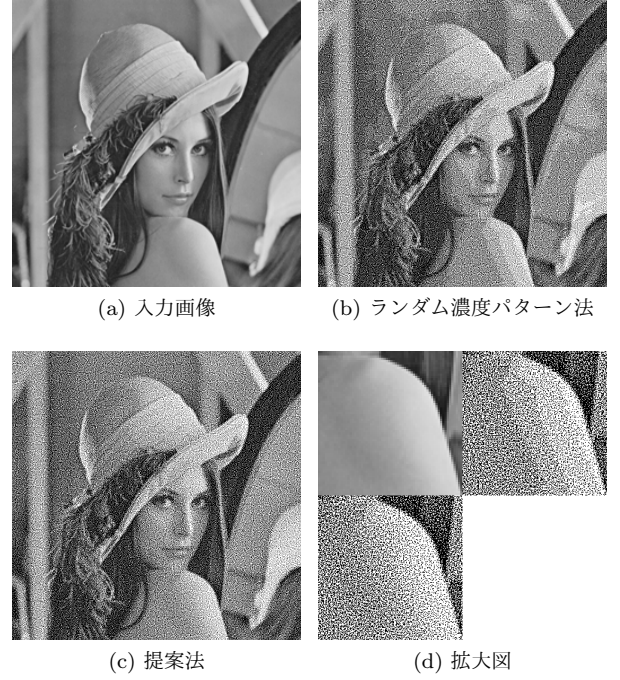


図 1: グレースケール画像の拡大ハーフトーン

5.1 グレースケール画像での結果

図1にグレースケール画像を拡大ハーフトーンした結果を示す．図1(a)は入力画像であり，画素数は 256×256 である．倍率 s を3として，ランダム濃度パターン法で拡大ハーフトーンした結果が図1(b)であり，誤差拡散法を併用した結果が同図(c)である．拡大ハーフトーン画像の画素数は 768×768 になる．ランダム濃度パターン法のみでの図1(b)では女性の肩や背景などに偽輪郭がみられるが，誤差拡散法を併用した同図(c)ではそれが目立たなくなっている．肩の部分の拡大図を図1(d)に示す．図1(d)の左上の部分画像は入力画像の一部であり，その右(同図(b)の部分画像)や下(同図(c)の部分画像)とはサイズが異なるが，大きさをそろえて表示している．

次に，拡大ハーフトーン画像を構成する各2値パターンを1つの画素に置き換えて縮小した画像を図2に示す．ここでは各2値パターンの平均画素値を縮小画像の対応する画素の値とした．図2(a)は図1(b)を縮小したものであり，拡大ハーフトーン画像と同じく偽輪郭がみられる．図2(b)は図1(c)を縮小したものであり，拡大ハーフトーン画像と同じく偽輪郭が目立たない．図2の画像は入力画像と同じ大きさであり，入力画像を用いた定量的画質評価が可能である．そこで，入力画像(図1(a))とランダム濃度パターン法から得られた縮小画像(図2(a))のピーク信号対雑音比 (PSNR) を計算したところ，29.5dBであった．一方，提案法から得られた縮小画像(図2(b))ではPSNRは27.6dBと低くなった．これは見た目での



(a) ランダム濃度パターン法 (b) 提案法

図 2: 拡大ハーフトーン画像の縮小画像

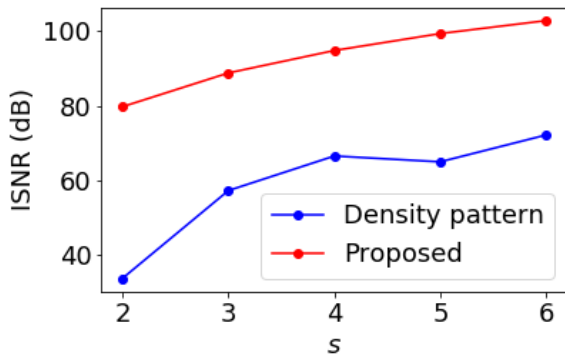


図 3: 倍率 s と ISNR の関係

評価と異なる結果であり、PSNR による評価は妥当ではないと考えられる。そこで、PSNR に変わる評価方法として、2枚の画像の積分画像 [4] 間の SN 比 (ISNR) を計算したところ、ランダム濃度パターン法では 57.3dB であり、提案法では 88.8dB であった。

図 3 に倍率 s を変えたときの ISNR の値を示す。グラフの横軸は倍率 s であり、縦軸は ISNR である。 s が大きくなるにつれて ISNR も大きくなる傾向にある。また、青線はランダム濃度パターン法を表し、赤線は提案法を表す。提案法はランダム濃度パターン法よりも高い ISNR 値を示した。

5.2 カラー画像での結果

図 4 にカラー画像を拡大ハーフトーンした結果を示す。図 4(a) は入力画像であり、画素数は 256×256 である。倍率 s を 3 とし、ランダム濃度パターン法で拡大ハーフトーンした結果が図 4(b) であり、誤差拡散法を併用した結果が同図 (c) である。グレースケール画像での結果と同様に、ランダム濃度パターン法による結果 (図 4(b)) では偽輪郭がみられるが、誤差拡散法を併用すると偽輪郭が目立たない (同図 (c))。肩の部分の拡大図を図 4(d) に示す。図 4(d) 内の右上のランダム濃度パターン法よりも左下の提案法のほうが肩の滑らかな色変化を

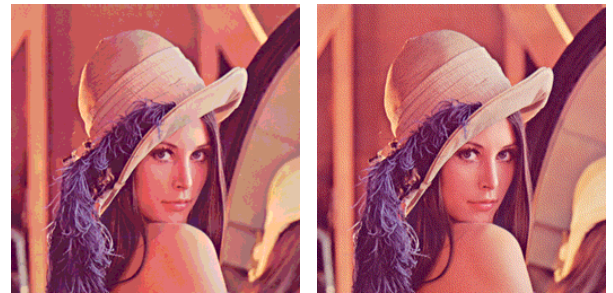


(a) 入力画像 (b) ランダム濃度パターン法



(c) 提案法 (d) 拡大図

図 4: カラー画像の拡大ハーフトーン



(a) ランダム濃度パターン法 (b) 提案法

図 5: 拡大ハーフトーン画像の縮小画像

良好に再現できている。

グレースケール画像のときと同様に、拡大ハーフトーン画像をもとの大きさに縮小した結果を図 5 に示す。図 5(a) のランダム濃度パターン法では偽輪郭がみられるが、同図 (b) の提案法では偽輪郭は目立たない。ISNR は図 5(a) のランダム濃度パターン法が 46.7dB であり、同図 (b) の提案法では 74.8dB であった。

6 まとめ

ランダム濃度パターン法と誤差拡散法を併用した拡大ハーフトーン法を提案した。ランダム濃度パターン法だけで拡大したハーフトーン画像では偽輪郭が発生したが、誤差拡散法を併用することによって偽輪郭を目立たなくすることができた。また、各画像の積分画像を求め、積分画像間の SN 比を計算することによって、目視による評価に合った定量的画質評価を行った。提案法を連

続階調画像の超解像処理に応用することが今後の課題である。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP16H03019 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] D. L. Lau, G. R. Arce, *Modern Digital Halftoning* Second Edition, CRC Press, 2008.
- [2] CG-ARTS 協会, “デジタル画像処理 (第 2 版)”, 公益財団法人 画像情報教育振興協会, 2007.
- [3] Z. Karni, D. Freedman, D. Shaked, “Fast Inverse Halftoning” In *The 31st International Congress on Imaging Science, ICIS*, 2010.
- [4] P. Viola, M. Jones, “Robust Real-time Face Detection” *International Journal of Computer Vision*, vol. 57, no. 2, pp. 137–154, 2004.
- [5] R. W. Floyd, L. Steinberg, “An adaptive algorithm for spatial grey scale” In *Proceedings of the Society of Information Display*, vol. 17, pp. 75–77, 1976.
- [6] 坂内正夫, 大沢裕, 曾根光男, 尾上守夫, “画像処理研究用標準画像データベース SIDBA の運用について”, *テレビ学技報*, vol. 8, no. 38, pp. 7–12, 1984.