

網点画像の検出

富川 武彦

An Identification of Halftone Images

Takehiko TOMIKAWA

Abstract

A moiré, which is caused by the interference in scanning and reproducing pseudo-binary pictures, becomes a serious problem. This paper gives an algorithm for the identification of halftone images in order to avoid from being moiré artifacts due to aliasing. At first, the histogram on the second differentiation is used for this purpose. Then a mean square error between two histograms described above, one is directly differentiated while the other is differentiated after being applied to a smoothing filter, has been paid attention to discriminate against halftone patterns. In this process, the laplacian and the 3×3 spatial filter was used for differentiation and for smoothing, respectively.

1. ま え が き

連続階調を2値データの集合として表現した疑似階調化の手法はデジタル処理に都合が良い。新聞紙面における網点画像や、近年、注目されているディザ画像などは疑似階調画像の例である。ところが、疑似階調画像を量子化したり、再疑似化しようとする場合、画素成分と入力系および出力系の周期性を有する画素成分との干渉によりモアレ問題が生じる。そこで、従来から疑似階調画像を識別するための種々の提案がなされている。例えば、a) 予め準備したパターンとのマッチングをとる方法¹⁾、b) 濃度値の極点を検出し、極点の間隔から周期性を判定する方法²⁾、c) バンドパス・フィルタを適用した画像データに基づくしきい値判定方法³⁾、などがある。しかし、a) は対象とする網点の形状を、また b) は網点の周期を事前情報として利用している。c) は疑似階調画像のパターンに依存しないモアレ除去法として提案されているが、領域判定のしきい値の設定が難しい。筆者は疑似階調パターンに依存せず、網点領域の検出を容易に行う方法を検討した。画像入力時にモアレが発生すると、疑似階調パターンの事前情報は役に立たなくなる恐れがある。従って、予めパターン情報を必要としないとする前提

条件は重要である。具体的には、入力画像に微分操作を施したデータと、一旦、平滑化してから微分操作を施したデータそれぞれのヒストグラムを手掛かりに、分布の変化量に基づいた網点検出を行う方法である。以下、その内容について述べる。尚、モアレの発生メカニズムについては既に報告されている文献⁴⁾を参照されたい。

2. 画像の劣化

画像の濃度情報を利用しようとする場合、入力系における画像劣化について触れる必要がある。一般に、対象物を走査する電子レンズや電子ビームは点でなく拡がりを持つ。動物の視覚観測系の理論的な解析としてぼけの理論があるが、ビームの点広がり関数を $h(x, y)$ 、像の光束パターンを $f(x, y)$ とすれば $f(x, y)$ により生じる画像信号 $g(x, y)$ は畳み込み演算として、 $g(x, y) = h(x, y) * f(x, y)$ で表わされることが知られている。ここで、 (x, y) は二次元座標を表わす。 h と f とを畳み込むと、関数 h で表わされる重みを用いて入力 f の各点の荷重平均をとることにより f をぼけさせ、原画には存在しない疑似的な中間調の成分を発生させることになる。

疑似階調画像は離散的なドットの集合であるため、2値や濃淡画像と比較して白・黒の境界部分がかなり多

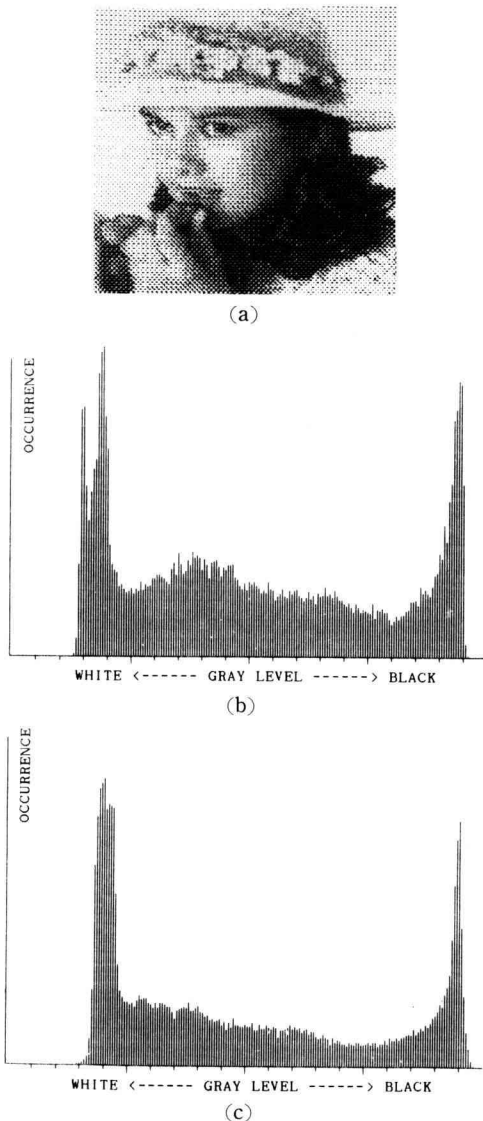


Fig. 1. a) original, b) histogram of continuous-tone, c) histogram of halftone

く存在している。しかしながら、量子化後のデータは前述したように疑似的な中間調の成分が多く含まれているため、濃淡画像の量子化した濃度情報とは一意に区別できない。但し、このような議論は疑似階調を構成しているドット成分のサイズと、入力系の解像度との相対的な関係に依存した判断である。すなわち、疑似階調画像の属性は、光学的な倍率次第で2値にも濃淡にもなり得る。図1は濃度ヒストグラムの例であり、

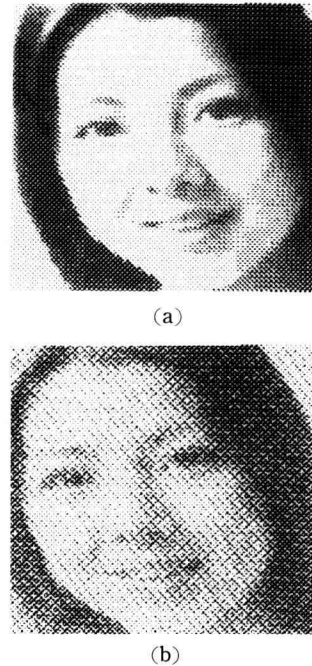


Fig. 2. Dither: a) continuous-tone, b) halftone

a) は原画の網点表示を、b) は原画の濃度ヒストグラムを、また c) は網点化後の濃度ヒストグラム例をそれぞれ示したものである。ここで、入力画像は電子写真学会のテストチャート No. 3 を用いた。以後、特に断わらない限りテストチャートは同学会のものを用いることにする。

3. 網点検出

モアレの発生による画像劣化した例を図2に示す。但し、入力画像はテストチャート No. 2 を用いた。この図で、a) は原画のままを、また b) は原画を網点表示したものを、それぞれ入力してディザ表示した例である。図 b) は入力時にサンプリングピッチとの干渉によりモアレが発生し、出力時にディザパターンとの干渉により再度、劣化を引き起こしている。そこで、網点領域を検出できれば、モアレ発生とは関係しない部分に対してまでモアレ抑圧の処理を施さずに済む。以下、平滑化と二次微分操作を用いた網点検出の方法について述べる。

まず、二次微分操作について説明する。単なる濃度

ヒストグラムでは各画素の濃度値のみが有意性を持ち、位置関係は無視されるため二次元的な特徴が失われる。従って、二次元データの幾何学的位置を反映した情報量を得るために、画像の互いに隣接した点の濃度値がどのような傾向を以て起こるかを調べる必要がある。具体的には、ある画素の濃度がその近傍に位置する別の画素の濃度に対して生起する相対的な頻度、すなわち、一種の結合確率密度を調べることで、濃度値間の特定の隣接関係が得られる。二次微分による濃度変化の統計量としてラプラシアン・ヒストグラムを利用することを考える⁵⁾。等方的な二次微分オペレータを差分に置き換えた4連結近傍のラプラシアンは、 $g_{(i,j)}$ を (i, j) における濃度レベルとすると、

$$\nabla^2 g_{(i,j)}^d = g_{(i+d,j)} + g_{(i-d,j)} + g_{(i,j+d)} + g_{(i,j-d)} - 4 \cdot g_{(i,j)} \quad (1)$$

と表わせる。但し、 d は差分対象となる参照画素どうしの隔たりで、 $(1 \leq d \leq N/2 - 1)$ である。また、ラプラシアン・ヒストグラム $H_{(k)}^d$ を (1) 式の絶対値 $K = |\nabla^2 g_{(i,j)}^d|$ における出現頻度とすれば、

$$\sum_{\forall K} H_{(k)}^d = (N - 2 \cdot d)^2 \quad (N: \text{画像サイズ}) [\text{pixels}] \quad (2)$$

なる関係となる。ここで、有効画素の総度数が1となるように正規化を施したものを改めて $H_{(k)}^d$ とすれば、 d に依存しない値となる。すなわち、

$$H_{(k)}^d := H_{(k)}^d / (N - 2 \cdot d)^2 \quad (3)$$

となる。図3は、図1と同じ画像の $d=1$ におけるラプラシアン・ヒストグラムで、2本の曲線はそれぞれ連続

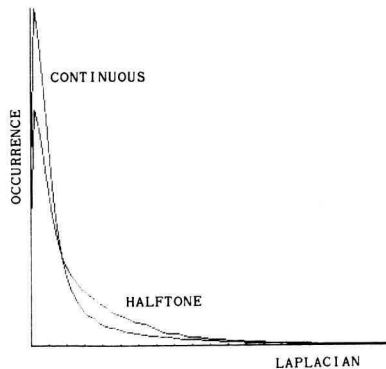
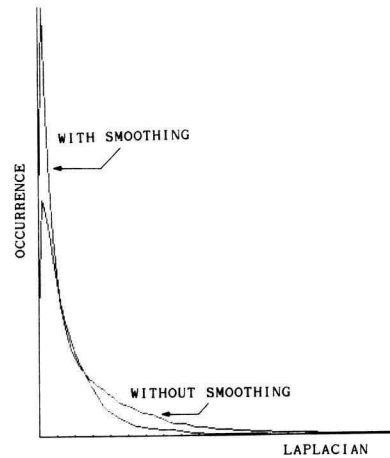


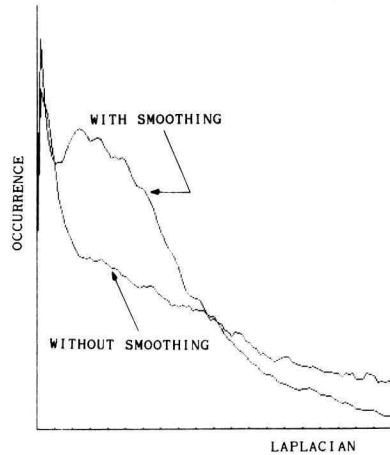
Fig. 3. Laplacian histogram

階調、網点の場合である。前者は隣接画素間に強い濃度相関があるため、 $k=0$ 付近にピークを持つ鋭い指数関数分布を示す。一方、後者は本来2値であるため棒状の離散分布となるはずであるが、2.で述べたように疑似的な中間調の成分の影響を受けたなめらかな分布を示し、ラプラシアンの大きい部分の度数が高くなっている。

次に、ラプラシアン・ヒストグラムと網点成分との相関について述べる。連続階調に平滑化を施しても隣接画素間の濃度相関は余り変化しないが、網点画像の



(a)



(b)

Fig. 4. Laplacian histogram: a) test chart No. 3, b) test chart No. 2

ようなドットの集合から成る2値画像では平滑化を施す前後において隣接画素間の濃度相関が大きく変化するという事実に着目する。そこで、まず、入力画像をラプラシアン操作する場合に平滑化を施したものとそうでないものとを準備する。次に、(3)式に従ってヒストグラム化した後に、両者の変化量を調べる手順により網点検出を行う。図4 a) b) はそれぞれ図1、図2と同じ画像のラプラシアン・ヒストグラムを示したものである。a) では平滑化ありとなしの分布が余り変化していないのは、網点の構成要素が細かいため連続階調に似た特徴を示すことに起因している。一方、b) のようにモアレを引き起こすような場合には平滑化の影響が大きい。

平滑化ありとなしのラプラシアン・ヒストグラムにおける変化量を定量化するために、平均二乗誤差(ϵ^2)を求めた。すなわち、

$$\epsilon^2 = E\{(H_k^a - \bar{H}_k^a)^2\} (E\{x\}: x \text{ の期待値}) \quad (4)$$

となる。但し、 \bar{H}_k^a は平滑化後のラプラシアン・ヒストグラムである。また、平滑化としては3×3の空間フィルタによる畳み込みを利用した。

4. シミュレーション結果

3. で述べた網点検出のアルゴリズムをまとめたものを図5に示す。この手順に従ってシミュレーション実験を行い、本手法を評価した。評価用のシステムは以下の通りである。

- a) 光電変換：汎用TVカメラ (NEC TI-22AII)
- b) A/D変換：8 bit/pixel, ALT 256-8-4 (Altec Systems)
- c) 画像マトリクス：256×256 [pixels]
- d) 評価用画像：電子写真学会テストチャート、画像電子学会テストチャート、新聞紙面
- e) その他： $d=1$, $13 < k < 115$, $T_h=15$

ここで、(4)式の値より網点と判断されるしきい値(T_h)は経験的に定めた。但し、網点を全て検出する必要はなく、モアレによる画像劣化が著しいものを検出できるように T_h を設定すれば良い。また、 k の値は、連続階調画像の $k=0$ 付近における(4)式の値が大きく敏感であるため k の下限を、ラプラシアン操作に付随したノイズの影響を避けるために k の上限を定める目的としたものである。入力時のレンズ系の倍率は、新聞の網点周期を4[ドット/mm]とした時を以て1と

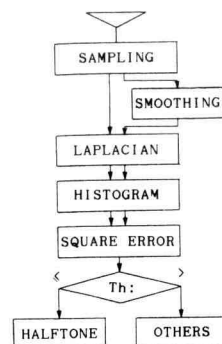


Fig. 5. Algorithm of halftone identification

して行った。文書画像、網点画像、濃度画像3種類、12枚を評価した結果、文書画像1枚を網点画像と誤っただけであった。この画像は文書の事前知識を用いれば、正しく判定できる素材であった。また、網点画像であっても検出されなかったものをディザ化して表示した結果、弱いモアレを示す素材があった。

5. ま と め

平滑化ありとなしのラプラシアン・ヒストグラムを基に、両者の平均二乗誤差に従った網点検出アルゴリズムを提案した。少ないサンプル数ではあったが、シミュレーション評価の結果、一応、本手法の有効性を確認できた。長所としては、

- a) 入力画像の事前情報を必要としない、
- b) 判定用のしきい値が唯一である、
- c) 網点を全て検出することなしに、モアレを起こし易い素材だけに適用できる、

などである。一方、

- a) しきい値に学習の機能がない、
- c) モアレの程度と画質劣化との尺度が不明である、

などの問題が残された。尚、ディザ表示の出力時に起る、モアレによる画像劣化の程度を評価して、しきい値修正を行う方法を検討中である。

参 考 文 献

- 1) 高島、白洲：「文字・写真混在画像の網点化」信学技研報告、IE-83-67, p. 13~18 (昭和58)。
- 2) 上野、他：「網点写真を含む画像の二値化」第16回

- 画像工学コンファレンス, 15-3, p. 281~284(昭和60).
- 3) 佐藤:「ディザ法におけるモアレ除去処理」第2回ノンインパクトプリンティング技術シンポジウム論文集, 電子真学会, 3-4, p. 69~72 (昭和60).
 - 4) A. Steinbach: "An understanding of moire patterns in the reproduction of halftone images", Proc. IEEE, Comp. Soc. Conf. Pattern Recognition Image Process, p. 545~552 (1979).
 - 5) 富川, 松本:「ラプラシアン処理に基づく画像の属性判定」信学論 (D), J 79-D, 2, p. 497~500 (昭和62).