

ハーフトーン画像の電子透かしに関する考察 A Method for Watermarking of Digital Halftone Images

木本 伊彦†
Tadahiko Kimoto

1. まえがき

印刷画像に著作権表示のための電子透かしを埋め込む方式として電子割り符(光学的な透かし)が提案されている[1]。これは多値画像を2値ハーフトーン(擬似階調)処理するとき、重ね合わせると透かしが現れるような2枚の2値画像(割り符画像)を作成するものである。ハーフトーン化に濃度パターン法を用いる方式[2]では濃度パターンの選択の自由度を利用している。このとき、単独の割り符画像上で透かしを不可視にするために濃度パターンは選択範囲内からランダムに選択されるが、そのためにハーフトーン画像の画質は劣化する。

そこで本稿では、割り符画像の画質を向上させるために濃度パターンの選択範囲を最小限に限定する。そうしたときに比較的良好なハーフトーン画質を与える濃度パターンの例を示す。

2. 濃度パターン法に基づく電子割り符

2.1 濃度パターン法による2値ハーフトーン化

濃度パターン法[4]では多値画像の1画素を2値の $d \times d$ 画素領域で表す。 $d \times d$ の白黒2値パターン p について、

$N_w(p)$: p のうちの'1'(白)画素の数

$N_b(p)$: p のうちの'0'(黒)画素の数

とする($N_w(p) + N_b(p) = d^2$)。更に、集合 $P_d(m)$ を

$$P_d(m) = \{p \mid N_w(p) = m, N_b(p) = d^2 - m\}$$

とすると、多値画像の輝度 m の画素はハーフトーン画像上でパターン $p \in P_d(m)$ に対応付けられる($0 \leq m \leq d^2$)。尚、 $P_d(m)$ の要素数 $|P_d(m)| = d \times d C_m$ である。

2.2 電子割り符の生成

輝度 m に対するパターンを集合 $P_d(m)$ の複数要素の中から選べるものとする。その多岐性を利用して電子透かしをハーフトーン画像に埋め込む[1]。更に、以下のようにして割り符画像を作成できる[2]。ここで割り符画像とは次のような電子透かし(光学的透かし)が埋め込まれた2枚1組の2値ハーフトーン画像である:

(a) 単独では透かし図形は見えない。

(b) 2枚を重ねて透かししてみると透かし図形が見える。

輝度 m に対するパターン集合 $P_d(m)$ の2つの要素を p_1, p_2 とし、それらを重ね合わせて透かししたときのパターンを p_A とすると、 p_A は

$$p_A = p_1 \wedge p_2$$

で表される。但し、 $\wedge$ は各位置で対応する2つの2値画素の論理積をとることを意味する。この p_A が擬似的に表す輝度レベルは $N_b(p_A)$ が大きいほど低く(黒く)なる。更に、 p_1 と p_2 をベクトルと見なして、その間のハミング距離が大きいほど $N_b(p_A)$ は大きい。

多値画像 G (階調数 $d^2 + 1$)と、 G と同じ大きさの2値の透かし画像 S とから、割り符画像 R (公開用)、 V (検証用)は次の手順で作成される。

(1) G の画素 $g(i, j) = m$ のとき、 $P_d(m)$ の中からパターン p_1 を選び、ハーフトーン画像 R に p_1 を書き込む。

(2) S の画素 $s(i, j) = 1$ ならば、 $P_d(m)$ の中から p_1 とのハミング距離が最大のパターン p_2 を選び、ハーフトーン画像 V に p_2 を書き込む。

(3) $s(i, j) = 0$ ならば、 p_1 を画像 V に書き込む。

画像 V においては輝度 m に対して p_1 と p_2 が混在するので、それらを固定にすると透かし図形が現れることがある。そこで、透かし図形を不可視にするために、 p_1 は $P_d(m)$ の中からランダムに選択され、また、 p_2 は p_1 とのハミング距離が最大のパターンの中からランダムに選ばれる(以下、ランダム法)。一方では、このランダム性のために R と V はノイジーなハーフトーン画像となる。

3. 割り符に用いるパターンの限定

割り符画像 R, V のノイジーさを軽減するために、各輝度 m ($0 < m < d^2$)に対して用いるパターンを $P_d(m)$ の中の2つに限定し、そのうちの一方をランダムに選んで p_1 に用い、他方を p_2 に用いる(以下、限定法)。その2つのパターン $c_1(m), c_2(m)$ を次のような基準で $P_d(m)$ から選ぶことにする。

(a) それぞれ'0'(黒)画素についてドット集中型のパターンとする。

(b) $c_1(m)$ と $c_2(m)$ は $P_d(m)$ における最大のハミング距離を与えるものであること。尚、 $P_d(m)$ における最大のハミング距離は $H_d(m) = 2 \times \min(m, d^2 - m)$ である。

(c) '0'(黒)画素は $d \times d$ 領域のできるだけ内部に位置すること。

濃度パターン法で高画質のハーフトーンを与えるようなパターン[3]を $d \times d$ 領域内で各輝度に2つずつ定義するのは困難である。ここでは、上記の基準を(a)から順に優先させてパターンを定めることにする。

4. 処理例

$d = 4$ の場合について、限定法のために各輝度 m に対して2つずつ定めたパターンを図1に示す($0 < m < 16$)。図2はこれらのパターンを用いて濃淡画像に透かし画像を入れて割り符画像を作成した例である。これら2枚の割り符画像を重ね合わせると図3の透かしが現れる。また、同じ画像と同じ透かし画像からランダム法で作成した割り符画像の1枚を図4に示す。これと比較して図2のハーフトーン画像ではノイジーさが少ないように思われる。

5. むすび

本稿では、光学的透かしの機能を持ちながらハーフトーンを表示するためのパターンを各輝度2つずつに限定

†東洋大学工学部
Faculty of Engineering, Toyo University

することを検討し、そのようなパターンの例をドット集中型について示した。この例は濃度パターン法で用いられるパターンを参考にして、ハーフトーン画質を見ながら試行錯誤で定めたものである。パターンの解析的な検討や、ドット分散型のパターンに対する検討、画質の定量的評価などが今後の課題である。

参考文献

- [1] 松井甲子雄, “電子透かし的基础”, 第2章, 森北出版(1998).
- [2] 岡 一博, 中村康弘, 松井甲子雄, “濃度パターン法を用いたハードコピー画像への署名の埋め込み”, 信学論(D-II), vol.J79-D-II, no.9, pp.1624-1626 (1996-9).
- [3] 小野, 田賀, “濃度パターン法による中間調表示”, 画像電子学会全大, 16 (1982).
- [4] 例えば; 高木幹雄, 下田陽久監修, “画像解析ハンドブック”, pp.493-495, 東京大学出版会 (1991).

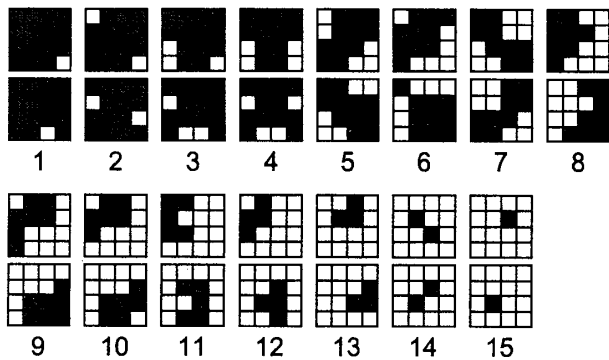


図1 各輝度2つずつに限定したパターン ($d=4$).



(a) 割り符画像 R (公開用)



(b) 割り符画像 V (検証用)

図2 限定法によるハーフトーン画像.



図4 ランダム選択による割り符画像 R .



図3 割り符画像を重ねて得られる透かし.