

ガウスフィルタによる誤差拡散文字画像の復元 に関する実験的検討

石渡 洋考[†] 久保田 裕紀[†] 嶋 好博[†]

[†] 明星大学 大学院理工学研究科 電気工学専攻 〒191-8506 東京都日野市程久保 2-1-1

E-mail: [†]shima@ee.meisei-u.ac.jp

あらまし 擬似中間調表現された 2 値文字画像をガウスフィルタにより、多値の濃淡画像に復元する。9600 個の誤差拡散文字画像に対して良好な復元画像が得られた。実験は、多値の濃淡画像の文字に対する、誤差拡散法による 2 値化、ガウスフィルタによる復元、画質評価からなる。ガウスフィルタによる復元では、そのマスクサイズを変化させ、復元処理した多値の濃淡画像と元の多値の濃淡画像を定量的に画質評価した。また、復元処理の際にかかる処理時間を測定した。なお、スキャナや FAX など様々な 2 値画像入力装置に対応するため、3 種類の誤差拡散法を実験には用いた。

キーワード 濃淡画像, 擬似中間調表現, ガウスフィルタ, 復元, 誤差拡散画像

Experimental study on Gaussian filter in restoration of error diffused character images

Hiroataka ISHIWATA[†] Hiroki KUBOTA[†] and Yoshihiro SHIMA[†]

[†] Graduate School of Science and Engineering, Meisei University 2-1-1 Hodokubo, Hinoshi, Tokyo, 191-8506 Japan

E-mail: [†]shima@ee.meisei-u.ac.jp

Abstract Half toned character images are restored to grey images by using a Gaussian filter. The image quality of restored images is evaluated when the size of Gaussian filter is changed. For 9600 half toned character images, good restored images are obtained. In the experiment, half toned images are converted from grey character images by error diffusion method. Coping with the variation of inputting scanner and FAX, three type of error diffusion method is used for evaluation of image quality. The processing time of image restoration is measured by using a personal computer.

Keyword gray image, half tone image, Gaussian filter, restoration, error diffused image

1. はじめに

近年、様々な分野において紙の文書を処理することは必要不可欠な業務である。なかでも、紙の文書をスキャナで画像に変換してオンラインの電子文書のように処理する文書画像処理のニーズが高い[1]。2 値文書画像が誤差拡散法[2]のような擬似中間調表現で採取された場合、文書画像中の文字パターンの画質が劣化し、文字認識が困難となる[3]。そのため、2 値文書画像中の擬似中間調表現された文字パターンを多値の濃淡画像に復元する方法が提案されている[4][5][7]。本研究では、多値の濃淡画像を、様々な 2 値画像入力のスキャナや FAX を対象とするため、3 通り誤差拡散法を用いて擬似中間調表現された文字画像を生成する。その 2 値文字画像に対してガウスフィルタを用いて多値の濃淡画像に復元する。パラメータの一つとしてボケの範囲に標準偏差 σ を用いる。また、多値の濃淡画像に復元するためにフィルタのマスクサイズを切り替える。最後に多値の濃淡画像と元の多値の濃淡画

像に対して相関係数を用いて比較することにより画質を評価する。

2. 擬似中間調による 2 値画像の復元

2.1. 文字画像データ

ETL 文字データベースとは、電子技術総合研究所(現、産業総合技術研究所)において、日本電子工業振興協会、大学、民間研究機関等の協力のもとに、パターン認識の文字認識研究用に収集された、手書き英数字、ひらがな、カタカナ、漢字、印刷漢字など、約 120 万サンプルの文字を納めたデータベースである[6]。本実験では手書き英数字画像(ETL3C)を使用した。画像の形式は pgm 形式である。本研究では、pgm 形式の画像を扱うため一画素を 8bit とした。抽出された 9600 個の文字画像の輝度は 0(黒色)~255(白色)の 256 階調グレースケールになっている。なお、元のデータベースでは一画素 4bit で、16 階調である。各文字のサイズは、72×76=5,472 画素である。標準化間隔は、0.133mm×

0.133mmである。

2.2. 各種の誤差拡散法による擬似中間表現

擬似中間表現とはディスプレイやプリンタなど階調表現が乏しい出力装置で擬似的に階調を表現するために行う処理である。誤差拡散法は、その中でも原画像を、図1に示すように、ラスタ走査（左から右、最右から一段下の最左へと走査する）順に処理し、擬似階調表現した際に生じる一つ一つの画素ごとの表現階調誤差に着目し、誤差を周囲の画素に分散する手法である[2]。本研究では、様々な2値画像入力のスキャナやFAXを想定しており、そのため3通りの誤差拡散法を使用する。図2に示すように、誤差拡散の処理領域として、近傍3画素(M1)、近傍4画素(M2)、近傍7画素(M3)の3通りを用いた。また、分配の係数は図2の右横に示す。分配係数Pa~Pgの値は、処理によって生じた誤差を、各方向にどれだけ割り振るかを示している。また、図3に誤差拡散画像の一例を示す。

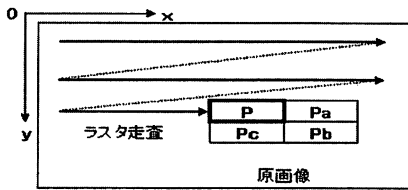


図1 注目画素 p(x, y) とその誤差を分配する近傍領域の例

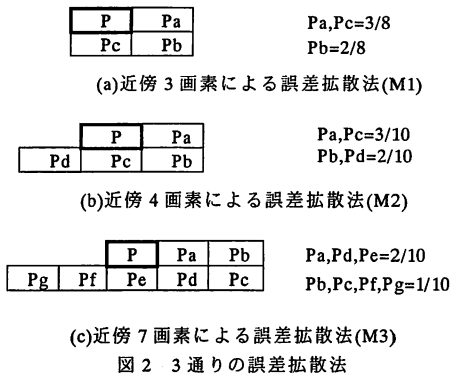


図2 3通りの誤差拡散法

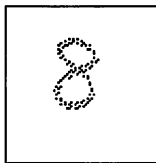


図3 誤差拡散法により得られた2値画像の一例

2.3. 二次元ガウス分布を用いた多値画像復元

擬似中間表現された2値文字画像は、黒色画素が点在した状態で文字パターンが構成されている。そこで、黒色画素の間の白色画素の空間を黒色画素で埋める処理を行う。ぼかす方法の画像処理には、移動平均フィルターや、メディアンフィルターがあるが、本研究では、ガウスフィルターを用いて多値の濃淡画像に復元する。ガウスフィルターは、中央周辺の部分のみを変化させる時に使う。中心点、つまり曲線の最も高い部分が注目点に掛かる重みで「1」となる。つまり注目点から距離が離れるほど重みが弱くなっていく。

ガウスフィルターは一種の平滑化フィルターである。平滑化フィルターとは、画像の輝度値を平均させようとするフィルターのことである。なぜ平均化すると良いかというと、ノイズは一般的に情報量が小さいので平均することでノイズを落とすことができるからである。この働き「平滑化」に掛かる重みがガウス関数で決まるということである。つまり注目点（白とすると）から見て、すぐ近くに黒点があれば、すぐ近くの点なのでガウスフィルターは思い切り平滑化して、両者の平均である灰色を注目点の新しい色にする。これが実際の画像ですと「ボケ」という形で現れる。ガウスフィルターの中心が(x,y)の原点である。xは、画像の横方向でyは、画像の縦方向である。ガウスフィルター中心(x,y)がx軸、y軸に移動して処理する。

ガウスフィルターはガウス分布を使っている。ガウス分布は、平均を中心に左右対称の“つりがね型”をした分布のことである。ガウスフィルターは(1)式の一次元ガウス分布 G(x)をx方向y方向に掛け合わせて、(2)式のように二次元ガウス分布 G(x,y)とする。二次元ガウス分布がガウスフィルターの重みである。このガウスフィルターにより、黒色画素をぼかして多値の濃淡画像を作る。これにより白色空間を黒色画素で埋め連結させる。

$$G(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \dots\dots\dots(1)$$

$$G(x,y) = G(x) \cdot G(y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \dots\dots\dots(2)$$

ガウス分布を使用した理由について述べる。誤差拡散法は注目した画素に近い部分を重点的に処理するものであり、同様にガウス分布も近い部分を処理するものなので、対象を合わせるために使用した。

また、マスクサイズは、指定した領域内だけを処理したい時に使用するフィルターサイズの大きさの事である。ボケの範囲として、実質的には、標準偏差σ(シ

グラム)を用いている。標準偏差 σ はボカシ度合いを決めるパラメータの一つで、大きいと山のすそのが広がりボカシ効果が強く出て、原画像に近い画像になる。一方標準偏差 σ を小さくすると、山が狭まりボカシ効果が少なくなり、ボツボツした誤差拡散法による擬似中間表現した画像に近い画像となる。本研究ではマスクサイズを 5×5 , 7×7 , 9×9 , 11×11 画素に取り替えて実験し、また、標準偏差 σ を $0.8 \sim 1.5$ まで 0.05 ずつ変化させて実験を行った。

3. 復元画像の画質の評価

最終結果出力された文字画像とデータベースの文字画像を評価する。画質評価の方法としては、(3)式に示す、相関係数 r を使用して画質評価する。また、相関係数とは、2つの変数の関係を記述する統計量である。 -1 から 1 の間の実数値をとり、 1 に近いときは、最終結果出力された文字画像とデータベースの文字画像には正の相関があるといい、 -1 に近いとき最終結果出力された文字画像とデータベースの文字画像は負の相関があるという。相関係数 r は、 1 に近いほど相関が強いといえ、最終結果出力された文字画像は、最も良くデータベースの文字画像に復元した画像と言える。 0 に近いときは最終結果出力された文字画像とデータベースの文字画像の相関は、弱いと言える。 -1 に近いとき最終結果出力された文字画像は、白黒反転した画像と言える。

なお、 P_a は原画像の Q_a は復元画像の画素値の平均値である。 $P(i,j)$ は原画像の $Q(i,j)$ は復元画像の画素値である。 i は横方向の j は縦方向の座標である。 M は横幅の、 N は縦幅の画素数、 MN は画素総数である。

相関係数 r の値は、画素値の相違が式(4)で表される場合即ち、画像の明るさが変動する場合であっても、不変量である。但し、 α は、正とする。

$$r = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \{P(i,j) - P_a\} \{Q(i,j) - Q_a\}}{\left[\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \{P(i,j) - P_a\}^2 \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \{Q(i,j) - Q_a\}^2 \right]^{1/2}} \dots (3)$$

$$P_a = \frac{1}{M \cdot N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N P(i,j), Q_a = \frac{1}{M \cdot N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N Q(i,j)$$

$$P(i,j) = \alpha Q(i,j) + \beta \dots (4)$$

4. 多値復元と画質評価の実験

4.1. 実験システム

文字データベースに入っている 9600 個の文字画像を取り出し実験に使用する。復元処理には、パーソナルコンピュータ(CPU: Celeron2.4GHz)を使用した。実

験プログラムは、画像取り出し、画像入力、3種類の誤差拡散2値化、文字復元処理、相関係数、画像出力の各モジュールから鳴り、C言語で作成している。図4に、実験のフローチャートを示す。実験手順は、まず、文字データベースから多値の濃淡文字画像を取り出す。そして、3種類の誤差拡散法により2値文字画像を生成する。次に、ガウスフィルターによって多値の濃淡文字画像を復元する。最後に、得られた多値の濃淡文字画像と文字データベースの多値の濃淡文字画像の画質を相関係数により比較する。なお、マスクサイズは、 5×5 , 7×7 , 9×9 , 11×11 画素とした。標準偏差 σ は $0.8 \sim 1.5$ の範囲とし、標準偏差の粗い刻みは 0.1 ずつ、細かい刻みは 0.02 ずつ替えて実験を行う。相関係数の測定では、それぞれの標準偏差 σ の値についてすべての文字画像に対する平均をとる。

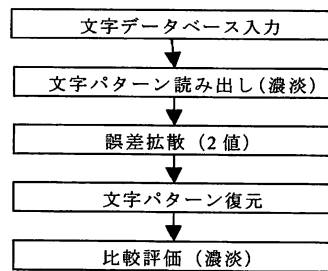


図4 文字画像復元実験のフローチャート

4.2. 実験結果

4.2.1 原画像と復元画像の相関についての結果

相関係数とガウスフィルターの標準偏差 σ との関係を図5、図6、図7に示す。図5は、近傍3画素による誤差拡散法(M1)における標準偏差と相関係数との関係であり、図6、図7はそれぞれ、近傍4画素による誤差拡散法(M2)における標準偏差と相関係数との関係、近傍7画素による誤差拡散法(M3)における標準偏差と相関係数との関係である。それぞれ図の縦軸は、マスクサイズごとの相関係数の平均値であり、横軸は、パラメータ σ (標準偏差)ごとの相関係数の平均値、測定結果の線は、マスク数により分かれている。相関係数の平均値が 0.9 以上となり強い相関関係があり、文字画像は良く、元の画像に復元されていると言える。最も良く復元されているのは、近傍3画素による誤差拡散法(M1)の時は、マスクサイズ 7×7 画素のパラメータ σ が 1.08 の時で、近傍4画素による誤差拡散法(M2)の時は、マスクサイズ 7×7 画素のパラメータ σ が 1.08 の時と、マスクサイズ 5×5 画素のパラメータ

σ が1.12の時、近傍7画素による誤差拡散法(M3)のときはマスクサイズ5×5画素のパラメータ σ が1.12の時である。全体の相関を確認すると、ほぼ同じような結果であるが、曲線のピークが近傍4画素による誤差拡散法(M2)の時の誤差拡散画像を復元したときの相関が最も強いことがわかった。また、パラメータ σ の値が1.1あたりまでは相関が強くなっていくが、それ以上パラメータ σ の値を上げると、相関は徐々に弱くなっていくことがわかった。

近傍3画素による誤差拡散法(M1)におけるマスクサイズと相関係数との関係を図8に示す。マスクサイズ7×7においての相関係数が最も強いことがわかる。また、ここでのパラメータ σ は、全体的に復元画像の相関が高い、 $\sigma=1.08$ とした。図9は、文字画像の復元結果である $\sigma=0.8$ の場合ではまだ隙間が完全に埋まらなく、又 $\sigma=1.5$ の場合では広範囲にわたってぼかした薄い画像となった。

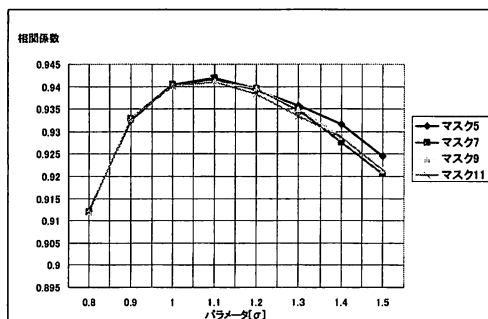


図5 近傍3画素による誤差拡散法(M1)における標準偏差と相関係数との関係

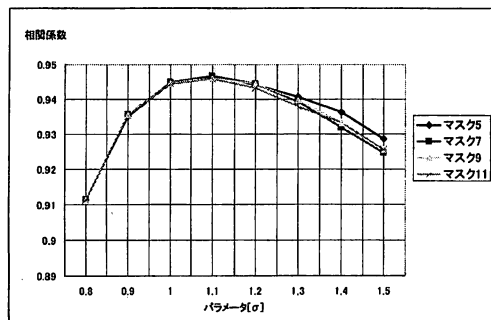


図6 近傍4画素による誤差拡散法(M2)における標準偏差と相関係数との関係

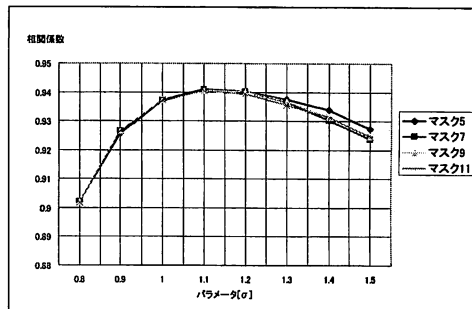


図7 近傍7画素による誤差拡散法(M3)における標準偏差と相関係数との関係

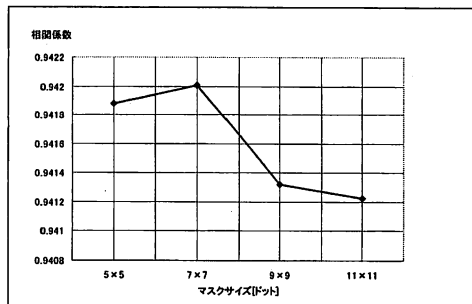


図8 近傍3画素による誤差拡散法(M1)におけるマスクサイズと相関係数との関係

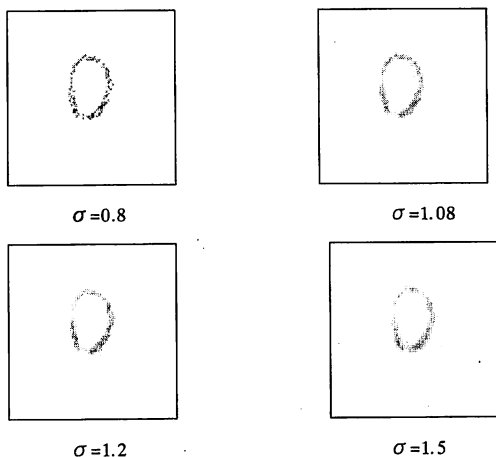


図9 標準偏差 σ の値を変化させた時の多値復元結果画像(数字「0」)

4.2.2 処理時間についての結果

図10は、誤差拡散画像を、多値の濃淡画像に復元

した時の復元処理におけるマスクごとの処理時間である。処理対象の2値画像は、近傍3画素(M1)・近傍4画素(M2)・近傍7画素(M3)のそれぞれの誤差拡散法により作成した、また、平均時間は、1文字当たりの復元処理の時間である。マスクサイズを小さくしていけば、それに合わせて処理時間は、短くなっていくことがわかる。マスクサイズを大きくすると、マスクサイズの二乗に比例して処理時間が長くなっていくことがわかる。

4.2.3 文字復元結果画像

ガウスフィルタによって復元された結果画像の例を図11、図12に示す。図11は文字「Q」で図12は数字の「5」である。標準偏差 $\sigma=1.08$ とした。マスクサイズは 7×7 画素である。図11(a)と図12(a)は、文字データベースより抽出された原画像である。図11(b)と図12(b)は、誤差拡散法により擬似中間調表現した画像であり、近傍3画素(M1)・近傍4画素(M2)・近傍7画素(M3)のそれぞれの誤差拡散法により作成した。図11(c)と図12(c)は、それぞれの誤差拡散画像に対する復元結果である。

5. まとめ

近傍領域を変えた3通りの誤差拡散法を用いた擬似中間調表現画像の復元において、9600個の文字画像に対する実験の結果、いずれの擬似中間調表現画像に対しても良好な復元画像が得られ、本提案の文字パターン復元法の有効性を確認した。ガウスフィルタのぼかし効果により、黒色画素が密集する部分では、白色空間がなくなり、文字パターンの形状を整形する復元が十分に認められたといえる。又、文字の種類による画質の変化は、見られなかった。さらに、マスクサイズを小さくすることにより、処理時間の短縮を確認することが出来た。

今後は、背景にノイズが含まれる文字画像の復元について評価を行う必要がある。また、多値復元画像に対する2値化方法を考案すること、さらには誤差拡散画像以外の擬似中間調表現の画像に対応させること等が課題である。

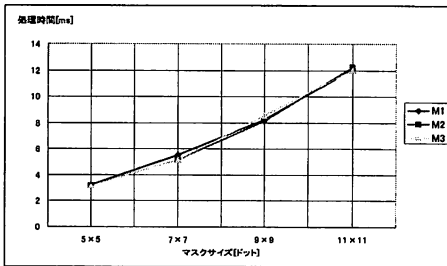
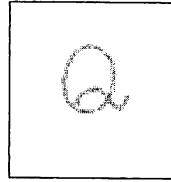
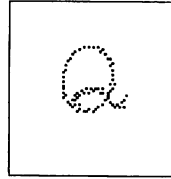


図10 ガウスフィルタのマスクサイズごとの

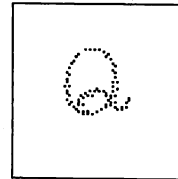
復元平均処理時間



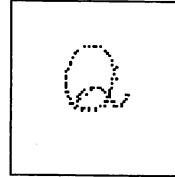
(a)原画像



誤差拡散法(M1)

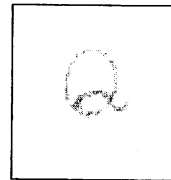


誤差拡散法(M2)

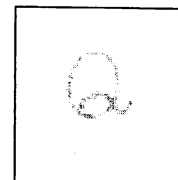


誤差拡散法(M3)

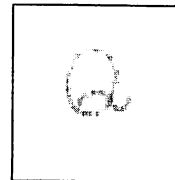
(b)誤差拡散画像



復元結果(M1)



復元結果(M2)



復元結果(M3)

(c)多値復元画像

図11 誤差拡散画像と多値復元結果画像の例 (文字「Q」)

文 献

- [1] S. Gopisetty, R. Lorie, J. Mao, M. Mohiuddin, A. Sorin and E. Yair, "Automated forms-processing software and services," IBM J. Res. Develop., Vol.40, no.2, pp.211-230, March 1996.
- [2] M. S. Shroeder, "Images from Computer," IEEE Spectrum, Vol.9, no.3, pp.66-78, 1969.
- [3] 嶋好博, 越智慎介, 久保田裕紀, 黒田玲, 関口諒, "擬似中間調表現の2値文字画像に対するパターン復元の一手法," FIT2004(第3回情報科学技術フォーラム), no.I-015, pp.31-32, Sept.2004.
- [4] 関口諒, 大矢博史, 嶋好博, "擬似中間調表現の文字画像の復元に関する実験的検討," 2005年電子情報通信学会総合大会, no.D-12-44, pp.194, March 2005.
- [5] 石渡洋考, 荒井智啓, 石澤健, 大井直人, 仁後直哉, 久保田裕紀, 嶋好博, "ガウスフィルターを用いた誤差拡散文字画像の復元の比較実験," FIT2005(第4回情報科学技術フォーラム), no.I-005, pp.17-18, Sept.2005.
- [6] ETLデータベース, 産業総合技術研究所, "<http://www.is.aist.go.jp/etlcnb/etln/etl3/etl3.htm>".
- [7] 石渡洋考, 荒井智啓, 石澤健, 大井直人, 仁後直哉, 久保田裕紀, 嶋好博, "誤差拡散文字画像の復元におけるガウスフィルターのサイズに関する実験的検討," 情報処理学会, 第68回全国大会, no.2M-7, pp.2-291-2-292, March 2006.

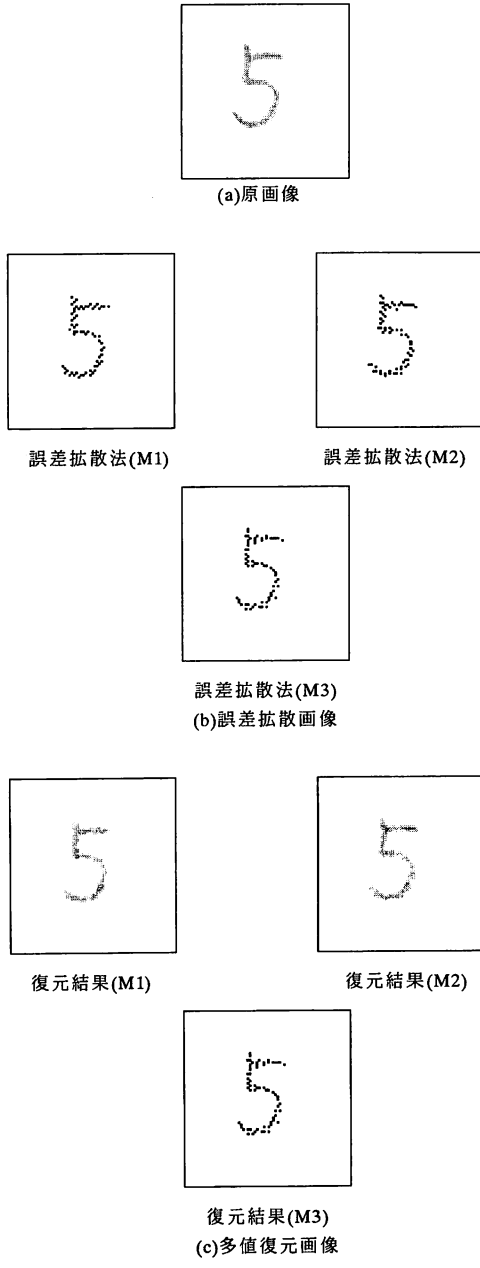


図 12 誤差拡散画像と多値復元結果画像の例 (数字「5」)