

# 線分と疑似濃淡の保存を考慮した文書画像の縮小変換法

黒 須 康 雄<sup>†</sup>

通信装置間の画像伝送や画像編集において、疑似濃淡領域を含む文書画像に対する倍率変換の高画質化が求められている。疑似濃淡領域を含む文書画像を対象に、領域識別型の倍率変換法を提案し、 $3/8$  倍以上の倍率での有効性をすでに報告した。本論文では、さらに低倍率域を対象に、線分の形状と疑似濃淡の階調性を保存する領域識別型の縮小変換法を提案する。本手法による縮小画像を対象として 6 名の被験者による主観評価実験を実施した。その結果、従来の領域識別手法と比べ、5 段階評価で最高 1.7、平均 1.1 ポイントの高画質化を達成した。これは、従来の一様な処理手法と比べ、最高 2.6、平均 1.6 ポイントの高画質化に相当する。

## A Reduction Method of Document Image with Thin Line and Dithered Image Preservation

YASUO KUROSU<sup>†</sup>

A high quality scale transformation method is required when a document image is edited on a display or transferred between communication devices. We already proposed a scale transformation method which divided a dithered image area and a text image area, and reported to get a high quality image when the document image is reduced by 1 to  $3/8$  times. This paper proposes a new reduction method which preserves a thin line image and a dithered image in each area when the document image is reduced by smaller ratio than  $3/8$  times. The proposed method is evaluated by MOS (Mean Opinion Score). As results, the method achieves 1.1 points of MOS superior to the previous proposed method and 1.6 points of MOS superior to a conventional method.

### 1. はじめに

高度情報化社会の進展にともない、大量に発生する紙の文書をコンピュータネットワーク上で扱いたいという要求が高まっている。これらの文書は、単なる文字列ばかりでなく、写真やグラフを用いた複合文書が多くなりつつある。この解決手段として手軽に入力できる 2 値画像の利用があげられる。この画像形式は、多値画像と比べ少ないデータ量で文書を表現できるため、伝送や蓄積効率を上げられるという利点もあわせ持っている。一方、コンピュータネットワークに接続された機器は、多くの機種から構成されており、その表示や印刷装置も、多種多様な解像度や画面サイズを持っている。このため、これらの機器で文書画像を効率良く扱うためには、2 値画像の解像度やサイズを自在に変換する技術が必要となっている。したがって、写真等の疑似濃淡領域を含む 2 値画像に対する倍率変

換の高画質化が重要な課題となっている。

この複合文書画像は、互いに性質の異なる文字図形領域と疑似濃淡領域から構成されている。前者は階調性よりも分解能を必要としており、逆に後者は分解能よりも階調性が重要である。しかし、従来からの 2 値化表現では、分解能と階調性の両立が困難であった<sup>1)</sup>。このため、領域ごとに個別のパラメータを用いて変換する方法<sup>2)</sup>や文字図形向けの変換法を疑似濃淡画像に拡張する方法<sup>3)</sup>等が研究され、良好な結果が報告されている。しかし、これらの手法はいずれも直交変換や特定のディザマトリクスを前提としているため、変換倍率やディザ画像に制約があった。この制約を緩和するため、筆者は図形的特徴に着目して領域を識別し、各領域に適した倍率変換法を用いる手法を提案した<sup>4)</sup>。しかし、変換倍率が  $3/8$  倍未満では、線分の欠落やモアレと呼ばれる周期的な縞模様が発生し、画質が劣化するという課題が残った。

一方、広く 2 値画像の縮小変換技術に目を転ずると、単一の文字図形画像と疑似濃淡画像を対象とする縮小変換も研究されている。前者は、 $1/2$  倍までの細線バ

<sup>†</sup> 株式会社日立製作所ストレージシステム事業部  
Data Storage & Retrieval Systems Division, Hitachi Ltd.

ターンと照合する方法<sup>5),6)</sup>や倍率とは無関係に1画素以下の細線を検出する方法<sup>7)</sup>等が考案されている。しかし、倍率の制限がない後者でも、2画素以上の線幅に変動が生じたり、微細な斑模様の線分に対応できないという制約があった。また、後者はディザマトリクスを再構成する方法<sup>8)</sup>等が考案されている。これも、特定のディザ画像を対象に特定倍率にしか対応できないという制約があった。この外に、疑似濃淡画像から多値画像を推定する方法<sup>9),10)</sup>が考案されているが、これらは階調付き装置へ出力するための技術である。低倍率域での高画質化を実現するためには、変換倍率の制約を解消したうえで、線分の形状を保存できること、多様な疑似濃淡画像に対応できることが必要である。したがって、従来からの縮小変換の考え方をそのまま適用することは困難である。

本論文では、以上の観点から図形的特徴を利用して文字図形領域と疑似濃淡領域を識別する。そして、線分の形状や疑似濃淡の階調性を保存する縮小変換の高画質化手法を提案する。また、疑似濃淡領域を含む2値画像を対象に、従来からの領域識別型倍率変換法との比較実験により、提案手法の優位性を明らかにする。

## 2. 従来からの領域識別手法

従来からの領域識別型倍率変換法は、文字図形領域と疑似濃淡領域を識別し、各々に適した手法で倍率を変換していた。本章では、従来手法の特性を示し、低倍率域での画質をさらに向上させる考え方を明らかにする。

### 2.1 領域識別型倍率変換法<sup>4)</sup>

通常の文書画像は、階調性よりも分解能が必要な文字図形領域と逆の性質を持つ疑似濃淡領域とから構成されている。そこで、2つの領域を自動的に識別し、各々に適した手法で倍率を変換する。

まず、黒画素の分散度と写真の形状に着目し、文字図形領域と疑似濃淡領域を識別する。すなわち、原画像を小領域に分割し、白黒変化点数と黒画素数からなる分散度特徴を抽出する。この特徴量を辞書と照合し、文字図形領域と疑似濃淡領域とを識別する。次に、小領域の誤識別を修正するため、画像全体を見て再度判定する。まず、疑似濃淡領域の小領域を8連結成分で連結する。これに外接する長方形を求め、疑似濃淡領域の候補として抽出する。そして、短辺の長さが閾値以下の長方形を消去し、画像全体を文字図形領域と疑似濃淡領域に分離する。

次に、原画像を所定の倍率に変換するため、分離した各々の領域に対して単純倍率変換法と濃度復元倍率変換法と呼ばれる手法を適用する。単純倍率変換法は、

2値画像のまま所望の倍率に変換する。すなわち、変換倍率に従って各画素を所定の座標に変換する。次に、変換画像を原画像に写像して、変換画素に最も近い原画像の画素の値を代入する。また、濃度復元倍率変換法は、2値の疑似濃淡画像から多値画像の濃度を推定したうえで所望の倍率に変換する。すなわち、注目画素と周辺画素の平均値により多値画像の濃度を推定し、この多値画像の各画素を変換倍率に従って所定の座標に変換する。次に、階調性を保持したまま2値画像へ再変換するため、誤差拡散法<sup>11)</sup>により多値画像を再2値化する。

最後に、領域識別の結果に従って、文字図形領域と疑似濃淡領域の倍率変換画像を合成する。

### 2.2 画質の定性的評価

一般に文書は、文字領域、図形や表領域、写真領域の組合せで表現されている。そこで、評価対象として、文字図形と写真が混在した文書を選定する。この文書をスキャナから入力し、A4サイズ400 DPI (Dot Per Inch) の2値画像データを作成する。まず、400 DPIの分解能を持つスキャナで入力し、1画素あたり8bitの階調画像を得る。これを写真部分と文字図形部分に分離し、前者を8×8のペイヤー型組織的ディザ法<sup>12)</sup>と後者を単純2値化法で2値化する。最後に、疑似濃淡画像と文字図形画像を合成し、評価用の2値画像を得る。

図1は、評価対象に対して、上述の領域識別型倍率変換法を適用した例である。a)は400 DPIの原画像、b)は領域識別型倍率変換法を用いて3/8に縮小した例、c)は同様に1/4に縮小した例、d)は同様に3/16に縮小した例である。ただし、見やすくするため、a)は400 DPI、b)~d)は300 DPIのプリンタを使って、各々を100%および133%の大きさで印刷してある。同様の理由で、以降は300 DPIで印刷した。

領域識別型倍率変換法は、文字図形領域と疑似濃淡領域を自動的に識別し、各々に適した手法で倍率を変換する。このため、濃度復元倍率変換法で発生する文字線分のぼけ、および単純倍率変換法で写真に生じるグリッド状のモアレを防止し、高画質な倍率変換を実現している。しかし、倍率変換手法が比較的単純なため、変換倍率の低下に従って情報の欠落が目立ち始める。すなわち、文字図形領域は、3/8倍で線分の欠落が発生し始め、倍率の低下に従って欠落が多くなり、3/16倍では判読不能の状態となっている。また、疑似濃淡領域は、3/8倍と3/16倍ではモアレを抑制しているが、1/4倍では強いモアレが発生している。このように、領域識別型倍率変換法は、3/8倍未満の低

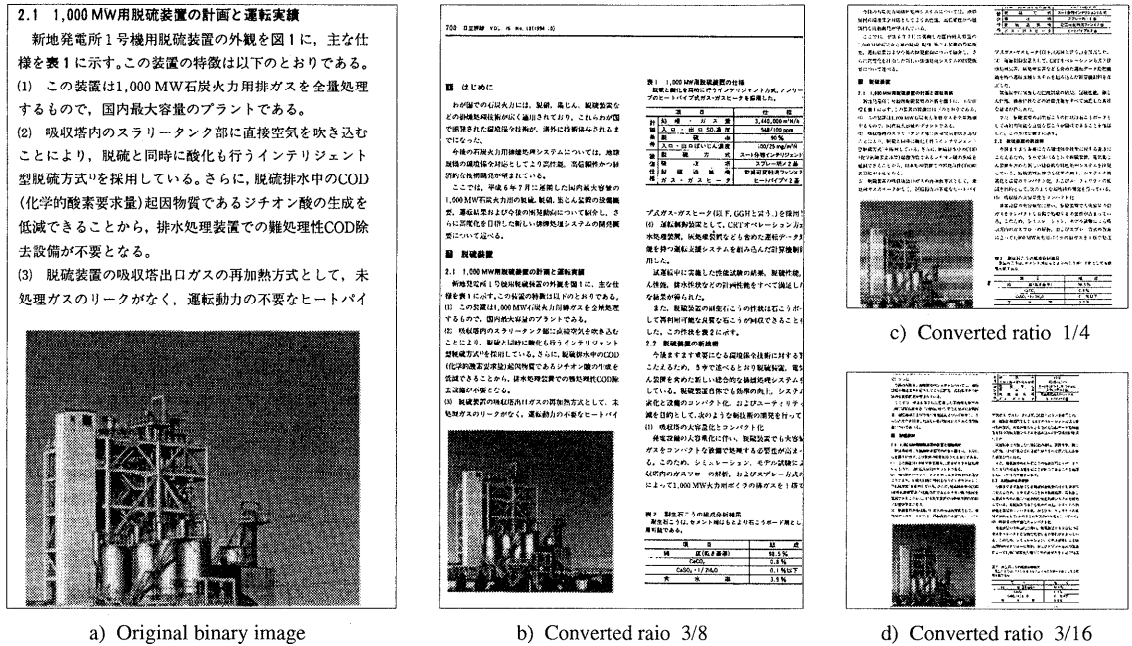


図 1 領域識別型倍率変換法による縮小画像の例  
 Fig. 1 Examples of converted image by conversion using area discrimination method.

倍率域で画像全体に画質の劣化が見られ、変換後の画像が原画像と異なる印象を受ける。

ここで提案する手法は、まず図形的特徴を利用して文字図形領域と疑似濃淡領域を識別する。そして、画質劣化の原因となる線分の欠落や疑似濃淡のモアレに対処した縮小変換を施し、低倍率域でも高品質な 2 値画像を得るものである。

### 3. 線分・疑似濃淡保存型縮小変換法

従来の領域識別型倍率変換法は、低倍率域で文字図形や写真が混在した文書画像を高画質に表現できなかった。本章では、線分の欠落と写真のモアレを防止するため、新たに提案した線分・疑似濃淡保存型の縮小変換手法の処理手順を明らかにする。

#### 3.1 基本的な考え方

文書画像は、性質の異なる文字図形領域と疑似濃淡領域とから構成されている。高画質な縮小変換を施すためには、前者の線分を正確に再現し、後者の濃度を偏りなく推定する必要がある。そこで、図形的特徴に着目して両者の領域を自動的に識別する。そして、変換後の線幅と濃度の推定面積に着目し、線分の形状と疑似濃淡の階調性を保存する 2 種類の縮小変換手法を適用する。これらの縮小変換手法を線分保存縮小変換法と濃度復元縮小変換法と名付ける。図 2 は、この考え方に基づいて考案した線分・疑似濃淡保存型縮小

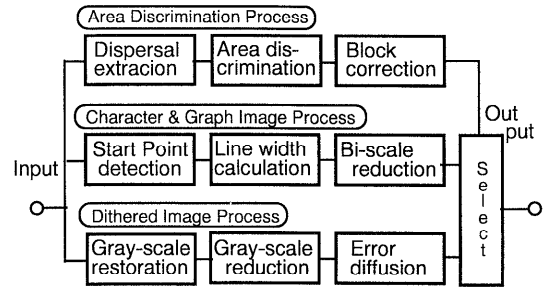


図 2 疑似濃淡・線分保存型縮小変換法  
 Fig. 2 Reduction method with thin line and dithered image preservation.

変換法のブロック図である。この手法は、上から文字図形領域と疑似濃淡領域を判定する領域判定法、文字図形領域を縮小変換する線分保存縮小変換法、疑似濃淡領域を縮小変換する濃度復元縮小変換法からなる 3 処理部から構成されている。そして、領域判定結果に従って両縮小変換法の出力を 1 画素ずつ選択し、高品質な 2 値画像を得る。

#### 3.2 領域判定法

領域判定法は、従来から用いられ、良好な結果が得られている手法<sup>4)</sup>を採用する。この手法は、高精度な判定を実現するため、小領域の局所判定と画像全体の大局判定の 2 段階で構成される。

まず、小領域ごとの黒画素数と白黒変化点数の組を

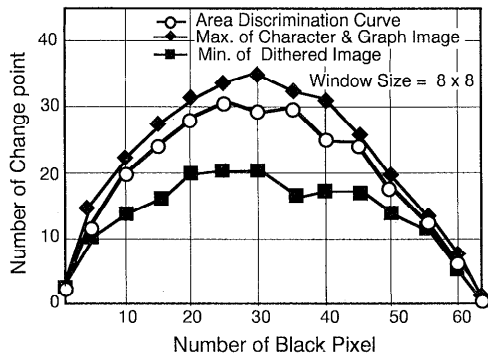


図3 分散度特徴の領域識別特性

Fig. 3 Area discrimination curve of dispersion feature.

分散度特徴と定義し、局所判定に用いる。2値画像を  $I(x, y)$ 、小領域を  $n \times n$  画素とすると、各小領域に対応する黒画素数  $B(i, j)$  および変化点数  $C(i, j)$  は、

$$B(i, j) = \sum_{n(i-1) < x \leq ni} \sum_{n(j-1) < y \leq nj} I(x, y) \quad (1)$$

$$C(i, j) = \sum_{n(i-1) < x \leq ni} \sum_{n(i-1) < y \leq ni} \cdot (I(x, y) \oplus I(x+1, y) + I(x, y) \oplus I(x, y+1)) \quad (2)$$

$\oplus$ : 排他的論理和

と定義できる。図3は、横軸に黒画素数、縦軸に白黒変化点数をとった分散度特徴の領域識別特性である。分散度特徴は、最良の判定率を示す  $8 \times 8$  画素の小領域から抽出した。図中の白丸の曲線は識別に用いる領域識別曲線を表し、これより上側を疑似濃淡領域、下側を文字図形領域と判定する。すなわち、原画像を小領域に分割し、分散度特徴を表す黒画素数と白黒変化点数を抽出する。この特徴量と領域識別曲線と照合し、小領域を文字図形領域か疑似濃淡領域のいずれかに割り当てる。

一方、文書画像は、見出し領域、本文領域、図表、写真領域から構成され、各要素は長方形の形状で表現できる<sup>13)</sup>。大局判定では、局所判定の誤判定に対処するため、この性質を利用する。まず、局所判定で抽出した疑似濃淡の小領域を統合してブロックを形成する。すなわち、小領域を8連結成分で走査して、連結する小領域を求める。これら連結する小領域に外接する長方形を求め、長方形の範囲内の文字図形領域を疑似濃淡領域に変更し、ブロックを形成する。次に、短辺の長さが閾値以下のブロックを文字図形領域として除去し、画像全体の文字図形領域と疑似濃淡領域を分離する。閾値は、写真の大きさを勘案して160画素と定めた。

以上、領域判定法は、まず局所判定で、分散度特徴と領域識別曲線を照合し、 $8 \times 8$  画素の小領域を識別する。次に、大局判定で、小領域をブロックに統合し、画像全体を文字図形領域と疑似濃淡領域に分離する。

なお、実験に用いた表2のサンプルは、局所判定で平均95.7%、大局判定で100%の正確さで識別できた。

### 3.3 線分保存縮小変換法

文字図形画像は、文字や図形を線分の組合せで表現している。低倍率域を高画質化するためには、線分の形状を正確に再現する必要がある。しかし、変換倍率に制限のない従来手法<sup>7)</sup>でも、2画素以上の線幅に変動が生じたり、微細な斑模様の線分に縮小できないという制約があった。すなわち、変換倍率の逆数の範囲を参照し、異なる色で囲まれた画素を線幅1画素の細線と判定していた。このため、線幅2画素以上になる線分は、位置により1画素分の変動が生じる可能性があった。また、線幅1画素程度の微細な斑模様の線分は、縮小されずに、位置が処理方向に移動していた。たとえば、線幅1画素で白の間隔が1画素の平行な黒の横線分を1/4倍に縮小すると、白黒の線分ともに線幅1画素以下に縮小できないため、同一の大きさ形状で位置だけが移動する。

この問題を解消するため、線分保存縮小変換法は、原画像の黒画素の塊を変換後の1画素に相当するブロックに分割し、変換後の線幅によって保存条件を変える。すなわち、線幅が1画素以下に変換される線分は、黒画素がブロックを満たさなくても、線幅1の細線に変換する。また、線幅が2画素以上に変換される線分は、線幅の変動を除去するため、黒画素がブロックを満たす場合のみ、ブロックを1画素に変換する。この結果、線幅2画素以上の線分は位置によらず、線幅の変動を排除し、その形状を正確に再現できる。また、微細な斑模様の線分も1本の細線として保存することができる。たとえば、従来手法で縮小できない前出の平行な線分は、白画素を含めた平行線を線幅1画素の黒線分として扱えるため、1/4倍に縮小しても、正確な位置に線幅1画素の横線分として保存することができる。

図4は、以上の考え方を図式化した線分保存縮小変換法の原理である。左側が原画像の  $XY$  座標系、右側が変換画像の  $X'Y'$  座標系である。原画像の黒画素を実線で囲み、このうち変換されて残る部分を斜線で示した。また、ブロック分割の起点画素を2重丸で示した。変換倍率は  $n/m$  倍、下矢印は整数化の記号である。

まず、 $XY$  座標系の原点から右下に向かってライン

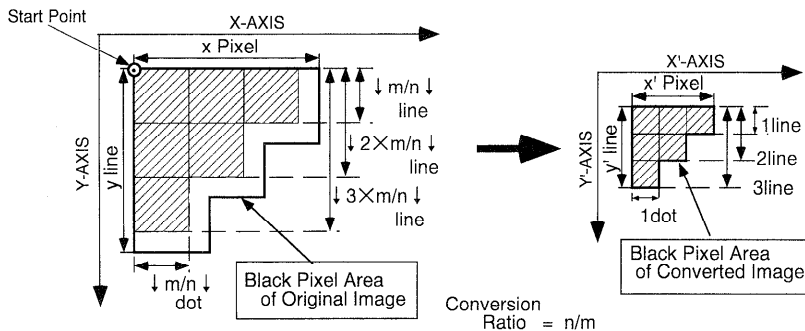


図 4 線分保存縮小変換法の原理  
Fig. 4 Principle of reduction method with thin line preservation.

方向に走査し、初めて接触した黒画素を塊の起点画素と定義する。この起点画素を原点とした塊を変換倍率の逆数、すなわち、変換後の1画素に相当するブロックに分割する。ブロックの下方が白画素で満たされた場合、または起点画素のブロック幅の右または左に黒画素が生じた場合、黒画素の塊の底辺と定義し、分割を終了する。

次に、条件を満たすブロックを左上に位置する変換画素にマッピングし、黒画素に変換する。すなわち、起点画素のブロックは無条件で1画素に変換する。起点画素を中心に垂直、水平方向に連なるブロック、すなわち、線幅1の細線の候補となるブロックは2種類の処理に分かれる。水平方向のブロックは水平方向一杯に黒画素が連なることを条件に、黒画素がブロックを満たさなくても、水平の細線として保存する。同様に、垂直方向のブロックでは垂直方向一杯に黒画素が連なることを条件に、黒画素がブロックを満たさなくても、垂直の細線として保存する。この様に、線幅が1画素以下に変換される細線を保存する。また、これ以外は黒画素がブロックを満たす場合のみ1画素に変換し、線幅の変動を生じることなく、線幅が2画素以上の線分に変換する。

最後に、原画像から変換した黒画素の塊を削除し、次の起点画素を定義する。また、次の起点画素が上のブロックに接触している場合は、例外処理として変換の対象から除外する。そして、一連の操作を原画像の終点まで繰り返す、縮小変換を終了する。

図5は、線分保存縮小変換法の処理例である。図中のa)は1画素の縦線、b)は3画素の縦線、c)は1画素の斜め線、d)は1画素のL字形である。起点画素を2重丸、原画像の画素を丸、変換画素を四角で表している。また、変換倍率は1/2倍であり、変換画素の1画素に相当するブロックを線で定義している。

1画素の縦線は変換後の線幅が1画素以下になる細

線として扱い、垂直方向に連なるブロックを黒画素で満たし、線幅1の縦線に変換する。3画素の縦線は変換後の線幅が2画素以上の線分として扱い、黒画素の欠けた右側のブロックを削除し、左側のブロックに対応した線幅1の縦線に変換する。1画素の斜め線は1ラインおきに定義される起点画素が上のブロックに接触するため、1ラインおきの黒画素を変換の対象から除外し、線幅1の斜め線に変換する。1画素のL字形は、起点画素の点および変換後の線幅が1画素以下になる細線として扱い、点および水平方向に連なるブロックを黒画素で満たし、線幅1のL字形に変換する。

以上、線分保存縮小変換法は、まず原画像を変換画像の1画素に相当するブロックに分割する。そして、変換後の線幅によってブロックの保存条件を変え、変換後の線分の形状を正確に再現する。

3.4 濃度復元縮小変換法

疑似濃淡画像は緩やかな濃度勾配をディザで表現している。縮小変換にともなうモアレを抑制するためには、濃度を偏りなく推定したうえで倍率を変換する必要がある。しかし、濃度の推定面積を小さくすると、局所的に濃淡の偏りが生じ、変換画像にモアレが発生する。逆に大きくすると、モアレの発生は抑制できるが、濃度勾配の急な部分にボケが生じる。このため、濃度復元縮小変換法では、まず画質の評価実験から推定面積の最適値を求める。そして、以下の手順に従って、最適な推定面積から多値画像の濃度を復元し、所定の倍率に変換する。

まず、注目画素と周辺画素の平均値により疑似濃淡画像から多値画像の濃度を推定する。2値画像を  $I(x, y)$ 、推定用ウィンドウを  $(2m + 1)$  の正方形とすると、復元した多値画像  $F(x, y)$  は、

$$F(x, y) = \frac{1}{(2m + 1)^2} \sum_{i,j} I(x + i, y + i) \quad (3)$$

となる。

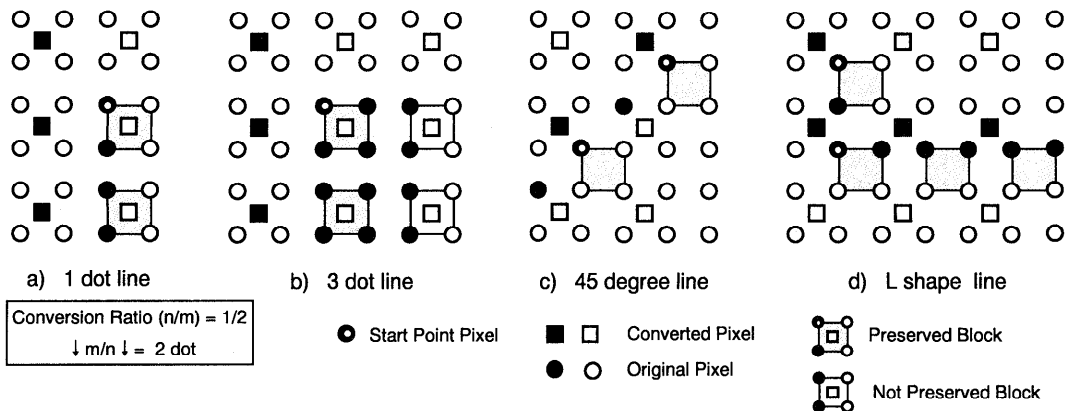


図5 原画素と変換画素との位置関係  
Fig. 5 Two-dimensional lattice arrays of original and converted pixels.

次に、多値画像  $F(x, y)$  に縮小変換を施し、多値の縮小変換画像  $F'(x, y)$  を求める。

最後に、階調性を保持するため、誤差拡散法<sup>11)</sup>を用いて縮小変換画像  $F'(x, y)$  を再2値化する。この誤差拡散法は、重み付けマトリクスとして正方領域を用いず、左右非対称な分布を採用している。しかし、正方領域にある画素の誤差をもとに注目画素の濃度を決定する平均誤差拡散法と等価と見なせる<sup>14)</sup>。縮小変換画像  $F'(x, y)$ 、再2値化画像  $P(x, y)$  とすると、周辺画像の誤差  $E(x, y)$  は、

$$E(x, y) = P(x, y) - F'(x, y) \tag{4}$$

となる。また、先行画素の誤差に対する重み付けマトリクス  $\alpha$ 、誤差の重み付け平均で修正した入力画像  $F''(x, y)$  は、

$$F''(x, y) = F'(x, y) + \frac{1}{\sum_{i,j} \alpha_{ij}} \cdot \sum_{i,j} (\alpha_{ij} \cdot E(x + i, y + j)) \tag{5}$$

$$\alpha = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 & 3 & 1 \\ 3 & 5 & 7 & 5 & 3 \\ 5 & 7 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \tag{6}$$

となる。この修正入力画像  $F''(x, y)$  を単一の閾値で2値化し、再2値化画像  $P(x, y)$  を得る。ここで、 $\alpha_{ij}$  は重み係数を表し、マトリクス  $\alpha$  の要素である。

以上、濃度復元縮小変換法は、まず2値画像の濃度を推定し、推定した多値画像の状態で縮小変換する。次に、縮小変換した多値画像を誤差拡散法で再2値化する。

### 4. 評価実験

線分の形状と疑似濃淡の階調性を保存する領域識別型の縮小変換法を新たに提案した。本章では、予備実験により各個別の縮小変換法の特性を把握し、さらに疑似濃淡領域を含む2値画像を対象に従来の領域識別型倍率変換法と比べ提案手法の優位性を明らかにする。

#### 4.1 実験条件

予備実験と本実験に用いたサンプルは、一般の雑誌、カタログ等から取り出した表1と表2の印刷文書である。前者は、線分保存倍率変換法と濃度復元倍率変換法の特性を把握するために用意した全面写真4種類と全面日本語2種類の計6サンプルである。後者は、線分・疑似濃淡保存型倍率変換法の効果を確認するために用意した日本語および英語の書式の異なる写真付きサンプル6種類である。

画像データはA4サイズ400DPIの2値画像を用いた。まず、400DPIの分解能を持つスキャナで入力し、1画素あたり8bitの階調画像を得る。これを写真部分と文字図形部分に分離し、前者を8×8のベイヤー型組織的ディザ法<sup>12)</sup>および後者を単純2値化法で2値化する。最後に、疑似濃淡画像と文字図形画像を合成し、評価用の2値画像を得る。ここで、疑似濃淡画像の画質は、ディザマトリクスの形式とサイズに依存すると考えられる。ディザマトリクスの形式は、その簡便性から最も一般的に用いられているベイヤー型を用いた。また、サイズは、入力した8bitの階調画像を最良の画質で表現することが確認されている8×8を採用した<sup>15)</sup>。

主観評価実験は、「非常に良い：5」「良い：4」「普通：3」「悪い：2」「非常に悪い：1」の5段階の評価尺度を用いて、平均オピニオン評点を求めた<sup>16)</sup>。「非



図 6 各手法による文字縮小画像の例

Fig. 6 Examples of converted character images by each methods.

常に良い」ランクの参照画像としては、原画像を提示した。また、縮小倍率は、6/8 倍から 1/8 倍までを用いた。ただし、提案手法は、原理的に任意の縮小倍率に変換できる。被験者は 21 歳から 32 歳までの男性 6 名である。

### 4.2 線分保存縮小変換法の特長

線分保存縮小変換法は、線分の形状を保存する手法である。そこで、低倍率域の特性を従来手法と比較する。

図 6 は、表 1 の文字画像を対象に、提案した線分保存縮小変換法、従来の領域識別型倍率変換法で用いた単純倍率変換法および従来から広く活用されている論理和倍率変換法を適用した例である。図中の上段が単純倍率変換法、中段が論理和倍率変換法、下段が線分保存縮小変換法であり、a)~c) が 1/2 倍、d)~f) が 1/4 倍の縮小画像である。ここで、論理和倍率変換法は単純倍率変換法と同様に処理し、変換画素の値を対応する原画像の 4 画素の論理和を用いて決定する手法である。

単純倍率変換法は、1/2 倍で線分の掠れや細りが生じ、1/4 倍では大半の文字が判読不能となっている。論理和倍率変換法は、逆にバランスを欠いたためや凸突起が目立ち、1/4 倍では画数の多い文字の中身が潰

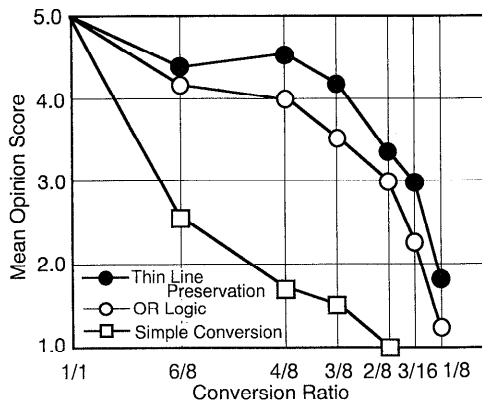


図 7 各手法による文字画像の画像品質

Fig. 7 Picture quality of character images by each methods.

れて判読が困難になっている。一方、提案手法は、文字全体を最もバランス良く縮小しており、良好な画質を保っている。1/2 倍では、太めや掠れが生じることなく、原画像どおり忠実に縮小している。1/4 倍でも、一部バランスの欠いた文字も見受けられるが、全体に文字線分本来の形状を再現している。

図 7 は、表 1 の文字画像に同様の手法を適用し、主観評価した結果である。ここで、縦軸は平均オピニオン評点、横軸は 1/1 倍から 1/8 倍までの変換倍率をとった。図中の黒丸は提案手法、白丸は論理和倍率変換法、白四角は単純倍率変換法である。以降、平均オピニオン評点を MOS (Mean Opinion Score) 値と略す。

単純倍率変換法は、3/4 倍で 2.6 ポイントまで急激に低下する。以降、リニアに推移し、1/4 倍で最悪値である 1.0 ポイントに収束している。また、論理和倍率変換法は 1/4 倍でも 3.0 ポイントを維持しているが、1/2 倍以下では提案手法を平均 0.6 ポイント下回っている。一方、提案手法は、すべての倍率で従来手法より良好な画質を示している。3/4 倍で 4.4 ポイントを示し、3/16 倍でも 3.0 ポイントと MOS 値の低下を抑え、掠れや潰れの影響を一掃している。従来、劣化が目立った 1/2 倍以下では、単純倍率変換法と比べ最大 2.4、平均 2.0 ポイント、論理和倍率変換法と比べ最大 0.8、平均 0.6 ポイントの優位差が見られた。

以上より、提案した線分保存縮小変換法は、従来手法の劣化が目立った 1/2 倍以下で、文字の判読性が大幅に改善できることを確認した。これは、線分保存縮小変換法が原画像の線幅を正確に測定し、スケルトンとその線幅を忠実に保存できたためと考えられる。このため、線幅が重要な情報となる図面や印刷文書を扱

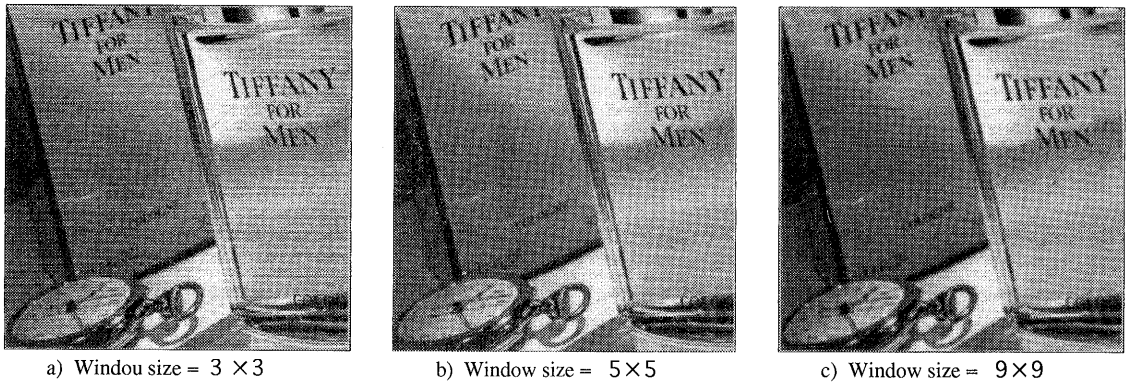


図 8 各ウィンドウサイズを適用した縮小画像の例 (Conversion Ratio=4/5)  
Fig. 8 Examples of converted tone picture images by applying each window sizes.

う分野で顕著な効果が期待できる。

#### 4.3 濃度復元縮小変換法の特長

最適なディザマトリクスで疑似濃淡画像を作成すると、濃度復元縮小変換法による画質は、疑似濃淡の推定面積に依存する。そこで、推定面積の最適値を求め、これを用いて低倍率域の特性を評価する。

図 8 は、表 1 の疑似濃淡画像を対象に、疑似濃淡の推定面積、すなわちウィンドウサイズを変えて濃度復元縮小変換法を適用した例である。図中の a) は  $3 \times 3$ 、b) は  $5 \times 5$ 、c) は  $9 \times 9$  のウィンドウを適用した縮小画像である。変換倍率は、いずれも  $4/5$  倍である。

$3 \times 3$  の画像は、文字をシャープに表現しているが、濃度変化の緩やかな部分でモアレが発生している。 $9 \times 9$  の画像はモアレを一掃しているが、逆に文字に滲みが生じている。これに対して、 $5 \times 5$  の画像は、文字の滲みと背景部分のモアレが消えて、良好な画質が得られている。これは、ウィンドウサイズが小さすぎると、局所的に生じた濃淡の偏りと変換倍率の間で干渉作用が生じ、モアレが発生する。逆に大きすぎると、モアレの発生は抑制できるが、濃度変化の急な文字の輪郭部分等が積分され、滲んだ状態になったためと考えられる。

次に、主観評価によりウィンドウサイズの特性を定量的に検証し、その最適値を決定する。図 9 は、濃度復元縮小変換法のウィンドウサイズ依存特性である。ここで、縦軸は MOS 値、横軸はウィンドウサイズをとった。変換倍率は、いずれも  $4/5$  倍である。

MOS 値は、ウィンドウが  $1 \times 1$  で 1.7 ポイントを示し、 $5 \times 5$  の 4.7 ポイントまで増加する。以降は、 $7 \times 7$  で 3.2 ポイントと下降に転じ、 $9 \times 9$  で 2.4 ポイントまで低下する。この特性は、図 8 の定性的な評価結果と一致する。ここでは、単一の変換倍率での評価結果を示したが、変換倍率を変えても最適値は一致

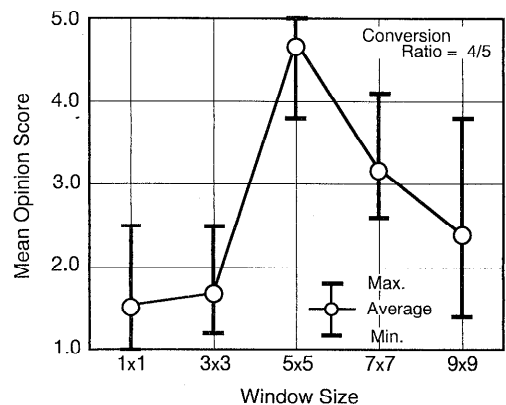


図 9 疑似濃淡画像の画像品質とウィンドウサイズ  
Fig. 9 Picture quality and window sizes of dithered image.

する。すなわち、倍率変換後の画質は、復元した多値画像の画質と変換倍率とで決定されるが、多値画像は倍率変換の入力となるので、画質は変換倍率に非依存である。したがって、ある変換倍率でのウィンドウの最適値はすべての倍率での最適値を保証される。そこで、濃度復元縮小変換法のウィンドウは、MOS 値が最大値を示す  $5 \times 5$  に決定する。

図 10 は、決定したウィンドウを用いて画質を評価した結果である。ここで、縦軸は MOS 値、横軸は  $1/1$  倍から  $1/8$  倍までの変換倍率をとった。

濃度復元縮小変換法は、 $3/4$  倍で 4.7 ポイントを示し、 $1/4$  倍でも 3.1 ポイントと MOS 値の低下を押さえ、モアレの影響を一掃している。しかも、 $1/8$  倍以下でも、2.0 ポイントに止まり、最適なウィンドウサイズを採用した効果を物語っている。

以上より、最適なウィンドウサイズが  $5 \times 5$  であることを明らかにした。また、これを用いた濃度復元縮小変換法は、モアレを一掃し、 $3/4$  倍で原画に近く、



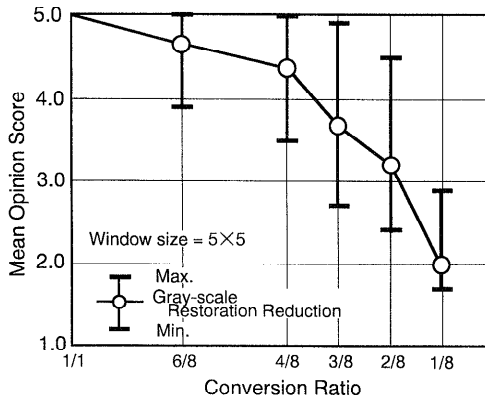


図 10 疑似濃淡画像の画像品質と変換倍率

Fig. 10 Picture quality and conversion ratio of dithered image.

1/4 倍でも「普通」以上の画質を提供できること確認した。これは、 $5 \times 5$  のウィンドウを用いた濃度還元縮小変換法がモアレや滲みを排除し、疑似濃淡の階調を忠実に再現できたためと考えられる。

#### 4.4 画質の評価

図 11 は、表 2 の疑似濃淡領域を含む 2 値画像を対象に、提案した線分・疑似濃淡保存型縮小変換法と従来の領域識別型倍率変換法を適用した例である。図中の上段が提案手法、下段が従来手法であり、a), e) が 1/2 倍、b), f) が 3/8 倍、c), g) が 1/4 倍、d), h) が 3/16 倍の縮小画像である。

従来手法は、文字図形領域と疑似濃淡領域とも変換倍率の低下に従って画質の劣化が拡大している。文字図形領域では、3/8 倍で比較的細い横線分が欠落し始め、変換倍率が低下するに従って欠落が多くなる。縦線分は、1/4 倍で欠落が始まり、判読不能文字が現れる。3/16 倍では、文書全体の文字が判読不能の状態となり、一部の罫線も消滅している。この現象は、従来手法が変換画素の値を周囲 4 画素から決定しているため、1/2 倍以下の倍率では参照できない画素が生じ、発生する。この参照画素の抜けに原画像の線分が位置すると、線分が欠落する。この現象は、低倍率域で特に目立っている。

また、疑似濃淡領域では、特定の倍率でモアレが周期的に発生している。1/4 倍で特に強いモアレが発生しており、1/2 倍でも弱いモアレが見られる。しかし、3/8 倍と 3/16 倍では抑制されている。この現象は、濃度を推定する面積が小さすぎるため、推定濃度の偏りと変換倍率の周期が干渉作用を起こして発生する。従来手法は、濃度を  $3 \times 3$  のウィンドウで推定しており、入力画像をディザマトリクスで変調した面積と比べ小

さすぎ、濃度に偏りが生じる。このため、倍率変換にともなう間引きが推定濃度の濃い部分に当たると、実際の階調よりも淡くなる。逆に、推定濃度の淡い部分が間引かれると、実際の階調よりも濃くなる。この現象は、背景等の濃度が一定の部分で特に目立っている。

一方、提案手法は、画像全体を原画像どおりに縮小しており、すべての変換倍率で良好な画質を保っている。すなわち、文字図形領域では、すべての変換倍率で文字と罫線の線分を保存している。特に、1/4 倍と 3/16 倍の文字画像は大半が判読できるように変化している。また、疑似濃淡領域でも、すべての変換倍率にわたりモアレの発生を一掃している。特に、強いモアレが生じた 1/4 倍でこの効果が顕著に現れている。これらは、提案した線分・疑似濃淡保存型縮小変換法が画像の各領域を正確に識別し、原画像の持つ有効な情報を保存したまま各領域を縮小できたため得られた。すなわち、線分の再現が必要な文字図形領域に線分保存縮小変換法を用い、正確な濃度の推定が必要な疑似濃淡領域に濃度還元縮小変換法を適用することにより、高画質化を達成している。

以上述べたように、提案した線分・疑似濃淡保存型縮小変換法は、領域識別型倍率変換法に対して、特に低倍率域の画質を向上できた。また、ここでは、複合文書画像を対象とした手法の中から領域識別型倍率変換法<sup>4)</sup>を取り上げ、比較評価した。この手法は、文字図形領域に単純倍率変換法を用いている。代わりに論理和倍率変換法等との組合せも考えられ、画質の向上が期待できる。しかし、線分保存縮小変換法は、文字図形画像を対象とした従来手法の制約を緩和し、高画質化を図っている。したがって、この手法を用いた線分・疑似濃淡保存型縮小変換法は、疑似濃淡領域を含む文書画像を対象にしても最も高い画質を得られると考えられる。

次に、主観評価手法を用いて提案手法の特性を定量化する。図 12 は、表 2 の疑似濃淡領域を含む 2 値画像を対象に画質を評価した結果である。ここで、縦軸は画質を表す MOS 値、横軸は 1/1 倍から 1/8 倍までの変換倍率をとった。図中の黒丸は提案手法、黒四角は従来手法<sup>4)</sup>である。

従来手法は、3/4 倍で 3.6 ポイントを示し、3/8 倍でも 3.0 ポイントと画質の低下を押さえている。しかし、3/8 倍未満では、1.0 ポイント台へと急激に MOS 値が低下する。一方、提案手法は、すべての倍率で従来手法より良好な画質を示している。従来手法で MOS 値が急激に低下した 3/8 倍未満では、最大 1.7、平均 1.1 ポイントの優位差が得られた。1/4 倍では 3.4 ポ



図 11 擬似濃淡・線分保存型縮小変換法と領域識別型倍率変換法による縮小画像の例

Fig. 11 Examples of converted images by thin line and dithered image preservation method and area discrimination method.

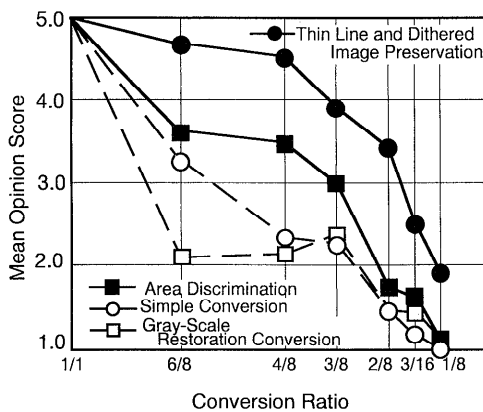


図 12 擬似濃淡領域を含む文書画像の画像品質と変換倍率  
Fig. 12 Picture quality and conversion ratio of document image including dithered image.

イントと平均以上の MOS 値を示し、モアレと線分の欠落による影響を一掃している。3/16 倍、1/8 倍でも従来手法と比べ 1.0 ポイント高く、疑似濃淡と線分の両者とも保存できた。しかも、従来手法で良好な画質を示した 3/8 倍以上の範囲でも、最大 1.1、平均 1.0 ポイントの優位差が見られた。これらの画質は見本として提示した原画像に近く、提案手法が疑似濃淡や線

分を微細な部分まで保存できたことを示している。

次に、提案手法と従来的一様処理手法の画質を比較する。図中の白丸は一様処理手法の一つである単純倍率変換法、白四角は同じく濃度復元倍率変換法を適用したサンプルである。単純倍率変換法は、3/4 倍で 3.2 ポイントを示し、倍率が低下するに従ってリニアに MOS 値が低下する。また濃度復元倍率変換法は、3/4 倍で 2.1 ポイントと急激に低下し、3/8 倍までほぼ同等の画質を示す。さらに、倍率を下げると、単純倍率変換法と同様に MOS 値が低下する。これらに対して、提案手法は、すべての倍率で良好な MOS 値を示し、最大 2.6、平均 1.6 ポイントの優位差が得られた。以上より、提案した線分・疑似濃淡保存型縮小変換法は、従来の領域識別手法と比較して低倍率域はもとより、すべての倍率にわたって、最高 1.7、平均 1.1 ポイント以上の画質を提供できること確認した。また、これは、従来的一様処理手法と比べ、最高 2.6、平均 1.6 ポイントの高画質化に相当することも明らかにした。

5. むすび

本論文では、疑似濃淡領域を含む 2 値画像に対する高画質な縮小変換手法を確立するため、線分の形状と

疑似濃淡の階調性を保存する領域識別型の縮小変換法を新たに提案した。

そして、提案手法の有効性を確認するため、12種類の文書画像を対象に6名の被験者による主観評価実験を実施した。その結果、文字図形画像は線幅を正確に再現したうえで太めや掠れを抑え、文字の判読性を大幅に改善できることを明らかにした。また、疑似濃淡画像はモアレの影響を一掃し、3/4倍では原画像に近く、1/4倍でも「普通」以上の画質を提供できることを確認した。

さらに、疑似濃淡領域を含む2値画像は、従来の領域識別手法に比べ5段階評価中、最高1.7、平均1.6ポイント以上の高画質化できることを明らかにした。これは、従来の一様な処理手法と比べ、最高2.6、平均1.6ポイントの高画質化に相当する。

今後は、写真の中に印刷された文字図形画像やフルカラー文書画像への適用を進める予定である。

謝辞 研究当初から貴重なご意見をいただいた(株)日立中央研究所藤澤浩道主管研究員に感謝いたします。

### 参 考 文 献

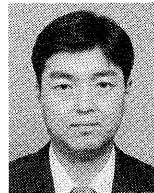
- 1) 牧野 寛, 赤田往久: 濃淡領域を含む文書画像の2値再生について, 信学論(D), Vol.J65-D, No.1, pp.307-314 (1982).
- 2) 加藤茂夫, 笠松 博: アダマール変換による文字・ディザ画像の解像度変換の一方式, 画電学誌, Vol.21, No.5, pp.553-560 (1992).
- 3) 森田秀樹, 小町祐史, 安田靖彦: 投影法に基づく高速画素密度変換方式, 画電学誌, Vol.11, No.2, pp.72-83 (1982).
- 4) 黒須康雄: 疑似濃淡を含む文書画像の倍率変換に関する一手法, 信学論(D-II), Vol.J80-D-II, No.10, pp.2723-2732 (1997).
- 5) 遠藤俊明, 加藤久晴, 江島晴一郎, 山崎泰宏: 細線保存を考慮した2値画像の縮小方式, 信学技報, IE89-24, pp.37-44 (1989).
- 6) 若林佳織, 川西 久, 安達文夫: 細線消失を防止した縮小変換法, 信学論(D), Vol.J70-D, No.4, pp.745-749 (1987).
- 7) 若林佳織, 市川忠嗣, 安達文夫: 細線保存縮

小変換法, 信学論(D-II), Vol.J75-D-II, No.8, pp.1364-1371 (1992).

- 8) 石坂字識, 加藤茂夫: 疑似中間調の縮小法に関する研究, 1993 信学春季全大, D-414, 7-175 (1993).
- 9) 山下春生, 南光孝彦, 弓場隆司, 入江宏之, 杉原泰宏: 2値画像の多値化に関する検討, 信学技報, IE93-19, pp.11-16 (1993).
- 10) 山田英明, 松原俊幸, 菊池健晴, 武田裕紀, 町野勝行: 疑似中間調画像からの中間調画像の推定, 信学技報, IE93-13, pp.17-24 (1993).
- 11) Floyd, R. and Steinberg, L.: An Adaptive Algorithm for Spatial Gray Scale, 1975 SID International Symposium Digest of Technical Paper, 4.3, pp.36-37 (1975).
- 12) Bayer, B.E.: An Optimum Method for Two-Level Rendition of Continuous-Tone Pictures, *International Conference on Communications*, 1, pp.26.11-26.15 (1973).
- 13) 秋山輝雄, 増田 功: 周辺分布, 線密度, 外接矩形特徴を併用した文書画像の領域分割, 信学論(D), Vol.J69-D, No.8, pp.1187-1196 (1986).
- 14) 高木幹雄, 下田陽久(監修): 画像解析ハンドブック, 東京大学出版会(1991).
- 15) Judice, C.N., Jarvis, J.F. and Ninke, W.H.: Using Ordered Dither to Display Continuous Tone Pictures, *IBID*, Vol.15, No.4, pp.161-169 (1974).
- 16) 安田靖彦(編): ファクシミリの基礎と応用, 電子通信学会(1982).

(平成9年7月14日受付)

(平成10年1月16日採録)



黒須 康雄(正会員)

昭和53年早稲田大学理工学部機械学科卒業。昭和55年同大学院修士課程修了。同年、(株)日立製作所入社。文字認識、画像処理、ファイルシステムの研究開発に従事。現在、ストレージシステム事業部勤務。電子情報通信学会、IEEE各会員。