社団法人 電子情報通信学会
THE INSTITUTE OF ELECTRONICS,
INFORMATION AND COMMUNICATION ENGINEERS

信学技報
TECHNICAL REPORT OF IEICE.

マンガ符号化における網点のグラデーション処理の検討

河村 圭† 渡辺 裕†† 富永 英義†,††

† 早稲田大学理工学部 〒 169–8555 東京都新宿区大久保 3–4–1
†† 早稲田大学大学院国際情報通信研究科
〒 168–0051 東京都新宿区西早稲田 1–3–10 29–7 号館
E-mail: †{kei,tominaga}@tom.comm.waseda.ac.jp, ††hiroshi@giti.waseda.ac.jp

あらまし マンガは中間調を表現するために均等濃度網点とグラデーション網点を用いる．従来のマンガ符号化では，分離した網点を均等濃度で近似している．そこで，本稿ではグラデーション網点を処理する手法について検討した．まず，網点を分離する手法を改善し，網点領域を小領域に分割して網点面積率を求める．そして，位置による網点面積率の差からグラデーション網点を検出する．また，グラデーションの方向と勾配を計算し，Flash や SVG など既存のベクトル表現のファイル形式に変換する．

キーワード マンガ，網点，グラデーション，ベクトル化，画像符号化

A study on gradation processing of halftone-dots for comics coding

Kei KAWAMURA†, Hiroshi WATANABE††, and Hideyoshi TOMINAGA†,††

† Dept. of Elec., Info. and Comm. Eng., Waseda Univ., 3–4–1 Okubo, Shinjuku–ku, Tokyo 169–8555 Japan
†† Graduate School of GITS, Waseda Univ., 29–7 Bldg., 1–3–10 Nishi–Waseda, Shinjuku–ku, Tokyo 169–0051 Japan
E-mail: †{kei,tominaga}@tom.comm.waseda.ac.jp, ††hiroshi@giti.waseda.ac.jp

Abstract In a comic image, homogeneous halftone–dots and gradation halftone–dots are used for expressing continuous tone. In the conventional comics coding, separated halftone–dots are approximated homogeneous continuous tone. In this paper, we propose a new technique to process gradation halftone–dots. First, we improve the halftone–dots separation algorithm. Then, we divide an area of halftone–dots into small areas and calculate tone values. Next, we detect gradation halftone–dots by difference of tone values of some small areas. In addition, we calculate a direction and an inclination of gradation. Finally, continuous tone and line drawings are converted to the existing file formats, such as Flash and SVG.

Key words Comics, Halftone–dots, Gradation, Vector convert, Image coding

1. はじめに

近年のコンピュータの発達により，ディスプレイ上で文書や画像を閲覧することが可能となり，商用のマンガ配信サービスが数多く開始されている．また，電子ペーパーの開発も盛んに行われており，電子ブックリーダーの未来形として新しい媒体が生まれつつある．

マンガを効率良く配信するためには，画像のデータ圧縮が必須である．現状では JPEG を用いた圧縮方式が主流である．しかし，本来 2 値画像であるマンガを多値画像として扱っていること，また，JPEG は自然画像を対象としていることから，線画中心のマンガを JPEG で符号化することは効率が悪いといえる．

我々は以前より，コンテンツオリエンテッド符号化という概念を提唱している．これは，コンテンツの特性に合わせた符号化を行う，という考え方に基づいている [1]．マンガやアニメーションをはじめとする線画中心の画像には，ベクトル表現を用いた符号化が適していると考えられる．

現在までのところ，マンガ符号化では網点を分離して均等濃度で近似し，線画と共にベクトル表現に変換する手法を提案してきた．本稿では，マンガ符号化においてグラデーション網点の処理を目的とし，網点分離手法の改善とグラデーション網点を検出，近似する手法について検討する．

2. マンガにおける網点とグラデーションの特性

本稿で扱う “マンガ” の網点について，符号化に影響を与え

る特性について述べる．

2.1 網点分離

マンガは主に線画と網点で構成されている．線画をベクトル表現に変換することは，ファイルサイズや解像度変換後の画質の観点から有効である．しかし，網点を単純にベクトル表現に変換することはファイルサイズの増大，解像度変換（縮小処理）によるモアレの発生を低減できない，などの問題がある [2]．そこで，網点を分離する必要がある．

2.2 網点の密度（網点面積率）

網点がすき間なくある状態を 100%（ベタ），網点が全くない状態を 0%，網点とすき間の量が半分ずつの状態を 50%という．網点面積率を指定する場合，以前は 10%刻み程度であった．DTP（Desktop Publishing）が導入されてからは，0〜100%まで 1%単位で指定できる．しかし，印刷機や紙，インキなどの調節が難しく，印刷で再現するのは困難である．細かくても 5%単位にとどめるのが一般的である [3]．

2.3 スクリーントーン

プラスチックシートなどの透明な薄いフィルムに網点などを印刷し，接着剤を塗布した地紋シートである [3]．

マンガで中間調を表現するために使われるスクリーントーンの種類は限定的である．網点面積率が一定のスクリーントーン，線形グラデーションのスクリーントーンが市販され，利用されている．

2.4 網点のモデル化

網点面積率が低い場合，網点を構成するそれぞれの点は，孤立していて，かつ面積が小さい．また，網点面積率が高い場合には，白黒を反転すれば同様に考えることができる．白い点が孤立していて，かつ面積が小さいと見なせる．

網点面積率が中程度の場合には，網点同士が連結し，孤立しているという特性が失われる．また，面積も大きくなる．そこで，注目画素の周囲にある画素が網点を構成しているか，または，注目画素が網点を構成しうるかという情報を元に判断する．

3. 従来のマンガ符号化手法の問題点

従来のマンガ符号化手法の概要を述べる．そして，問題点を明らかにする．

3.1 網点分離

網点を構成するそれぞれの点は孤立している，という特性を利用する．まず，画素の連結条件を 8 近傍としてラベリングをする．次に，構成画素数がしきい値以下の連結画素を網点として分離する．しきい値は固定値で，実験により手動で与える．

従来手法は，網点面積率が低い場合に有効である．しかし，網点面積率が中程度以上の場合を考慮していない．そのため，網点面積率が中程度以上の網点は，後行程で線画として扱われる．

また，グラデーション網点は広範囲の網点面積率を含むため，網点面積率に依存しない分離手法が求められる．

3.2 網点近似

まず，孤立点である網点を，図 1 に示すような膨張処理を行い，大きな領域とする．そして，1 つ 1 つの領域を網点領域と呼ぶ．ただし，膨張回数は手動で与える．次に，網点領域毎に含まれる網点の面積（画素数）を求め，網点領域に対する網点面積率を算出する．網点面積率を網点領域の階調とみなし，塗りつぶす．

従来手法は，網点面積率が中程度以上の網点は分離されなかったので，近似することも考慮されていない．また，均等濃度で塗りつぶすので，グラデーション網点のように網点面積率が変化する網点は考慮されていない．

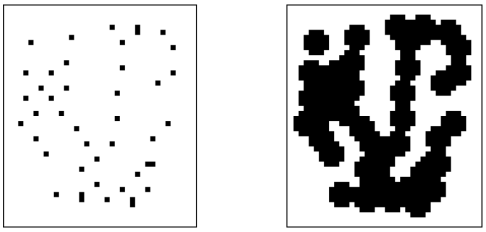

図 1 膨張処理
Fig. 1 Dilation operation

ただし，網点面積率によらず網点が分離された場合にも，網点領域を特定する手法は容易に拡張することが可能である．

4. グラデーションを考慮した網点分離，網点近似手法

3. で示したように，全ての網点面積率において分離可能な手法が必要である．また，網点領域毎に均等濃度網点かグラデーション網点かを判定し，グラデーションの方向と勾配を算出する必要がある．

まず，2.4 の網点のモデル化に基づき分離手法を改善し，次にグラデーション網点の検出，近似手法を提案する．最後に，既存のファイル形式におけるグラデーションの扱いについて述べる．

4.1 網点分離手法の改善

網点の特性は網点面積率によって異なる．

まず，網点面積率が低い場合と高い場合について検討する．網点面積率が低い場合は孤立していて，かつ面積が小さい特性を利用する．網点面積率が高い場合には，白黒を反転して同様の特性を利用する．

画素の連結条件を 8 近傍として入力画像（Input image）をラベリングをする．ただし，白黒反転した画像（Inverse image）の連結条件は 4 近傍とする．次に，しきい値以下の面積を持つ画素を網点であると判定する．ただし，しきい値は固定値で，手動で与える．これを簡易分離（simple separation）と呼ぶ．網点と判定された画素は網点画像 1（Black halftone–dots 1, White halftone–dots 1），残りは線画 1（Black line drawings 1，White line drawings 1）として分離する．

次に，網点面積率が中程度の場合について検討する．注目画素の周囲が網点領域であるか，すなわち注目画素が網点領域に含まれるかどうかを判定する．

3.2 の網点領域を特定する手法に倣い，線画 1 に対して膨張，縮小処理により網点領域を特定する．ただし，線画を含めた処理であり，簡易特定である．この画像を網点領域 1（Black halftone–dots area 1，White halftone–dots area 1）と呼ぶ．そして，線画 1 をラベリングし，各連結画素毎に以下の処理を行う．

連結画素と連結画素を膨張した画像の排他的論理和をとり，近傍画素を特定する．そして，近傍画素数に対する網点領域 1 の重なり度を算出する．重なり度がしきい値以上の場合，連結画素は網点を構成すると判断する．ただし，しきい値は固定値で，手動で与える．これを再分離（re–separation）と呼ぶ．

網点を構成すると判断された画素は網点画像 2（Black halftone–dots 2，White halftone–dots 2），残りは線画 2（Black line drawings 2，White line drawings 2）として分離する．

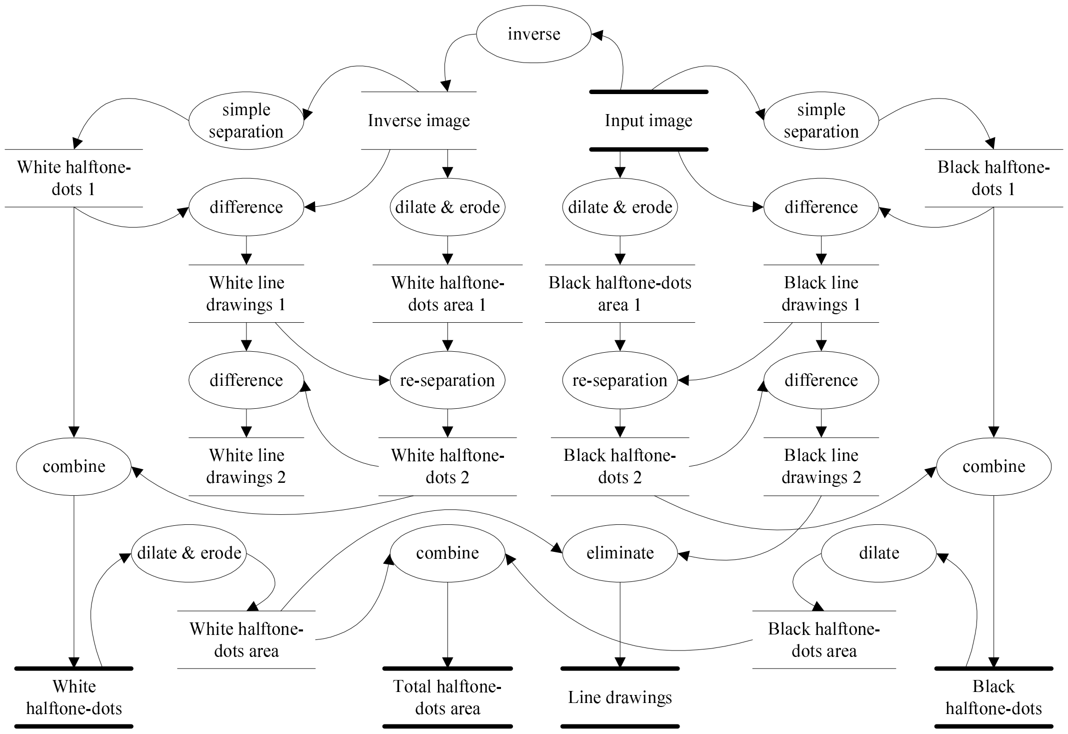

図 2　網点分離の流れ
Fig. 2　Image flow of halftone–dots separation

黒網点（Black halftone–dots）に膨張処理を行い，黒網点領域（Black halftone–dots area）を特定する．また，白網点（White halftone–dots）に膨張，縮小処理を行い，白網点領域（White halftone–dots area）を特定する．入力画像から黒網点を除去し，さらに白網点領域を除去して線画（Line drawings）を得る．黒網点領域と白網点領域を重ね合わせて網点領域（Halftone–dots area）と呼ぶ．

以上をまとめて図 2 に示す．

4.2　グラデーション網点の検出，近似

各網点領域毎に均等濃度かグラデーションかの特定をする．

まず，画像を $n \times n$ の小領域に分ける．小領域毎に含まれる網点領域，黒網点，白網点の画素数を求める．網点領域がしめる割合がしきい値以上の小領域を有効小領域と判定し，網点面積率を計算する．有効小領域数がしきい値以下の場合判定不能とし，均等濃度とみなす．また，網点面積率の最大値と最小値の差がしきい値以上の場合，グラデーションであると判定する．ただし，しきい値は固定値で，手動で与える．

網点面積率の計算は，以下の通りとする．白網点画素数と黒網点画素数を比較し多い方を優勢とする．黒網点画素数が優勢の場合は，網点領域の画素数と黒網点画素数の比を網点面積率とする．白網点画素数が優勢の場合は，網点領域の画素数から白網点画素数を引き算して黒画素数を求め，網点面積率とする．

次にグラデーションの方向と勾配を計算する．画像を立体データとして捉え，平面座標と高さ示すと考える．このとき，線形グラデーションは平面を表している．ここで，平面の方程式 $z = ax + by + c$ の 3 係数を特定するためには最低 3 点のデータが必要である．そこで，適当な n $(n \geqq 3)$ 個の小領域の座標と網点面積率を用いて連立 1 次方程式の最小 2 乗解を求め [4]，グラデーションの方向と勾配を計算する．

4.3　既存のベクター形式におけるグラデーションの表現手法

ベクトル表現を扱える既存のファイル形式として，代表的な 2 つについて検討する．

SVG（Scalable Vector Graphics）[5] は XML ベースの 2D ベクトル表現記述言語である．2001 年 9 月に W3C 勧告として公開された．SVG ファイルを閲覧するためには，Web ブラウザに専用のプラグイン “SVG Viewer” をインストールしておく必要がある．

Flash [6] は Macromedia 社が開発した，音声やベクトル表現のアニメーションを組み合わせて Web コンテンツを作成するソフト，または作成されたコンテンツである．Flash ファイルを閲覧するためには，Web ブラウザに専用のプラグイン “Flash Player” をインストールしておく必要があるが，標準でインストールされているため普及率は高い．内部ファイル形式は公開されており，フリーのオーサリングツールも開発されている [7].

これらのファイル形式では，図形を塗りつぶす際に線形と放射状のグラデーションを利用できる．線形グラデーションでは，まず，矩形領域に対し左端から数点，アルファチャンネルを含む色を指定する．指定された色の間が線形で補完される．つぎに，適用したい図形を含む矩形領域へのアフィン変換行列を指定する．実際に塗りつぶされる領域は図形の内部である．

提案手法により求められた方向と勾配を，色とアフィン変換行列に変換することで既存のファイル形式でグラデーションを表現できる．

5.　実験及び考察

提案手法を実装し，実験を行った．入力画像は，グラデーションを含むマンガを 300dpi，2 値画像としてスキャナで取り込む．図 3 に入力画像の一部を拡大して示す．

5.1　網点分離実験

簡易分離する際のしきい値は実験により 5 画素と定めた．また，網点を構成すると判定する重なり度のしきい値は 70%とした．

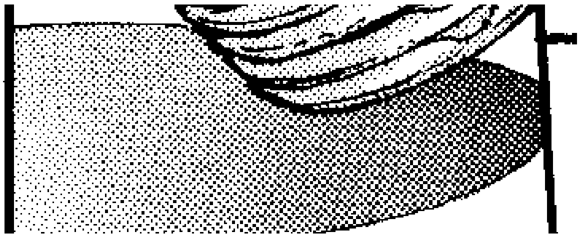

図 3　入力画像
Fig. 3　Input image

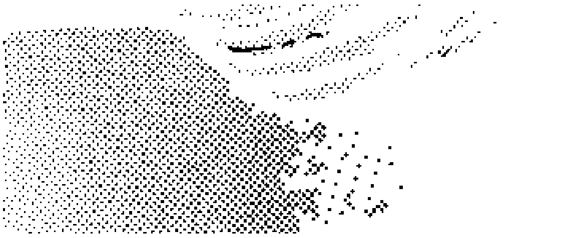

図 4　黒 網 点
Fig. 4　Black halftone–dots

図 5　白 網 点
Fig. 5　White halftone–dots

図 6　線　　画
Fig. 6　Line drawings

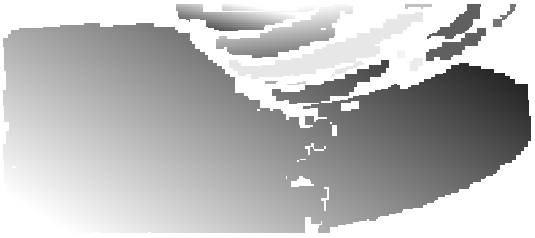

図 7　階調近似画像
Fig. 7　Continuous tone approximation image

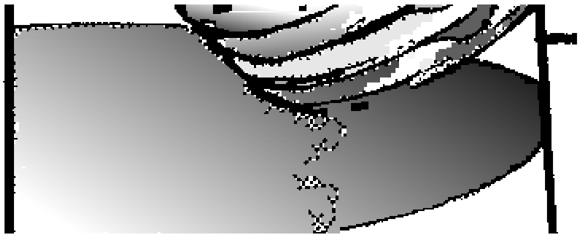

図 8　再構成画像
Fig. 8　Line drawings

黒網点を図 4，白網点を図 5，線画を図 6 に示す．

本実験により，いくつかの網点同士が連結しているような場合や，網点面積率が高い場合においても，ある程度分離可能であると確認できた．これは，グラデーションを検出するには十分な分離である．

しかし，網点の中にある線画が網点と判定される場合や，しきい値を固定値で与えるために網点と判定されない網点が残る場合がある．また，解像度に対するロバスト性に欠ける．高解像度で取り込んだ画像や，様々な線数の網点を分離できるしきい値の設定方法についての検討が必要である．

5.2　網点近似実験

網点面積率を計算する小領域は，8×8 画素とした．また，グラデーションの方向と勾配の算出に利用する小領域は 4 点とした．階調近似画像を図 7，再構成画像を図 8 に示す．

本実験により，網点領域を均等濃度，またはグラデーションであると判定できる可能性を示した．しかし，階調のつなぎ目部分における網点分離が不十分であるため，グラデーションが不連続に見えるという問題点が明らかとなった．

網点面積率を小領域に分割して計算することは，様々な線数の網点が混在しうるマンガにおいては必ずしも有効ではない．しかし，網点領域毎に小領域の大きさを動的に変えることで，様々な線数に対応できると考える．

また，グラデーションの方向と勾配の算出には他の手法も考えられる．例えば，網点領域の全ての画素を用いて最小 2 乗誤差の意味で最適解を求めるなどである．他の手法との算出精度，計算コストの観点から比較する余地がある．

6. ま と め

本稿では，マンガ符号化における網点を分離する手法を改善し，グラデーション網点の検出，近似する手法について検討した．提案手法では，網点領域を小領域に分割し，小領域における網点面積率に違いを用いてグラデーションを検出した．また，グラデーションが線形であることを想定し，小領域を n ($n \geqq 3$) 点以上選択して連立方程式を立てた．実験により提案手法が実現可能であることが確かめられ，マンガで用いられる均等濃度とグラデーションの網点が検出，近似可能となった．

今後は，実験により明らかとなった網点分離手法の課題や，網点分離を含めた提案手法の評価方法について検討する．

文　　献

[1] O. Nakagami, T. Miyazawa, H. Watanabe, H. Tominaga, “A Study on two–layer coding for animation images,” IEEE Int. Conf. on Multimedia Expo (ICME) 2002, WedAmPO3: Compression II, Aug. 2002.

[2] 河村 圭，“マンガの超高圧縮符号化に関する検討，” 情処研報 2003-AVM-42，no.2，pp.7-16，2003 年 10 月

[3] 日本印刷学会，“増補版印刷辞典，” 印刷学会出版部，1991.

[4] W.H. Press, B.P. Flannery, S.A. Teukolsky, W.T. Vetteling, “Numerical Recipes in C [日本語版]，” 株式会社技術評論社，1994 年 8 月

[5] “Scalable Vector Graphics (SVG) 1.0 Specification,” `http://www.w3.org/TR/SVG/`

[6] “Macromedia Flash File Format (SWF) Specification,” `http://www.macromedia.com/software/flash/open/licensing/fileformat/`

[7] “OpenSWF.org,” `http://www.openswf.org/`