

マンガ符号化における濃度勾配検出法の改良

河村 圭[†] 渡辺 裕^{††} 富永 英義^{†,††}

[†] 早稲田大学理工学部 電子・情報通信学科 〒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 我々は網点を階調表現に変換し、線画と共にベクトル表現に変換するマンガ符号化を提案してきた。階調近似処理において、従来手法では、固定サイズの小領域を複数個用いてグラデーションの向き、勾配、濃度を決定してきたが、モアレの発生により正しく濃度を決定できない場合があった。また、入力解像度や網点の線数の変化に対するロバスト性が欠けていた。本稿では、2値画像において網点周期を検出する手法を検討し、網点周期を利用してモアレの発生を低減させた濃度勾配検出法を提案する。シミュレーション実験により、提案手法の有効性を確認した。

キーワード マンガ, 網点, 網点周期, ベクトル化, 画像符号化

Improvement of Density-gradient Detection 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 Comic coding by gradation approximation and vector representation has been proposed. When gradation approximation is processed in conventional method, we used some small areas with constant size. However, in some cases, we could not detect correctly because of the moire. In this paper, we study a detection method using a period of halftone dots. Then, we propose an improved method for density-gradient detection. Our approach decreases occurrence of moire. Through some simulation experiments, we have confirmed that our proposed method is valid.

Key words Comics, Halftone dots, Halftone dots period, Vector Convert, Image coding

1. はじめに

近年のコンピュータの普及により、多くの人々が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、ペーパーレス化の観点から、印刷による紙媒体ではなく、ディスプレイ上で閲覧する需要が高まっている。CRT や LCD は中間調を積極的に利用することで視認性の高い表示が可能である [1]。

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 を用いた画像圧縮が主

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言える。

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。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 [2]。

現在までのところ、マンガ符号化では 2 値画像から網

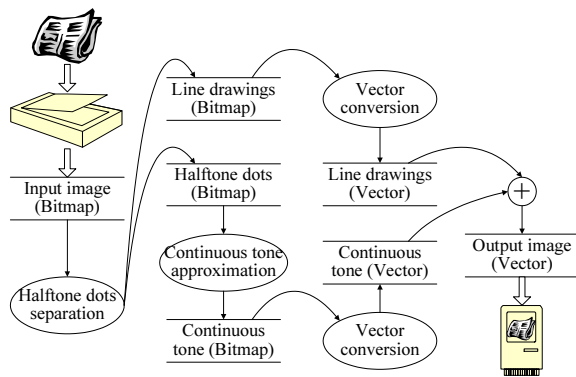


図 1 マンガ符号化の流れ

点を分離し、均等濃度もしくはグラデーションで階調近似する。さらに、分離により残った線画と階調近似画像をベクトル表現に変換し、階層化する手法を提案してきた [3], [4]。本稿では、マンガ符号化における階調近似処理の性能改善を目的とし、網点周期を用いた濃度勾配検出法を提案する。また、提案手法に対する評価実験を行い、有効性を確認する。

ここで、本稿で扱うモアレについて、用語と発生タイミングの整理をする。まず、画像をスキャナ等で入力する際に、網点と入力解像度の不整合がモアレの発生原因となる。これを入力時モアレと呼ぶこととする。次に、網点を含む 2 値画像を解像度変換する際に、網点と出力解像度の不整合がモアレの発生原因となる。このモアレを解像度変換モアレと呼ぶこととする。最後に、階調近似処理において、網点周期と整合性のない固定サイズで濃度を検出するときにも、モアレが発生する。これを検出時モアレと呼ぶこととする。マンガ符号化では、入力時モアレの存在しない画像を対象としてきた。すなわち、入力時にモアレが発生しないようにすることが前提条件である。そして、解像度変換モアレの発生原因である網点を階調近似処理によって除去してきた。本稿では、残された検出時モアレについて検討する。

2. 固定サイズ法の問題点

2.1 マンガ符号化の流れ

本節では、マンガ符号化の流れと従来手法の問題点を整理する。

マンガ符号化の流れを図 1 に示す。まず、既に印刷、出版された紙媒体をスキャナにより 2 値画像として取り込む。一連の内部処理により、SVG 形式や Flash 形式などのベクトル形式を得る。これを携帯電話や PDA などで閲覧する。

入力された 2 値画像は、網点分離処理により網点画像と線画に分離される。網点画像はモルフォロジー処理により網点領域が特定され、階調近似処理によりグラデーションで階調近似される。

階調近似処理では、網点画像を n 画素 $\times n$ 画素の小領

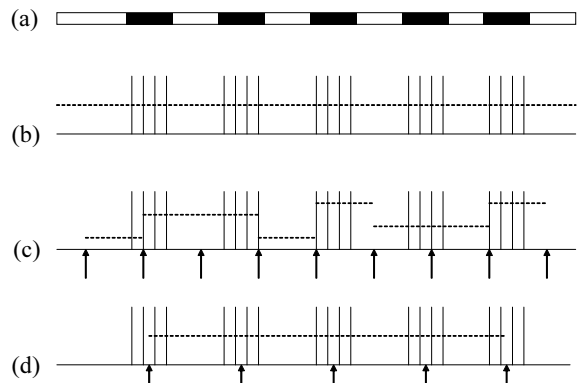


図 2 網点面積率算出時のモアレ発生メカニズム

域に分ける。小領域毎に含まれる網点領域と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。網点面積率は、網点領域に対する網点の面積比である。次に、グラデーションの向き、勾配、濃度を計算する。画像データを立体データとして捉え、画素値が平面座標の高さを示すと考える。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 m ($m \geq 3$) 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 [5]、濃度勾配を検出する。

そして、線画と階調近似画像はそれぞれベクトル変換処理によりベクター形式となる。これらのベクター形式を階層化し、出力とする。現在、ベクトル変換処理には既存のツールである AutoTrace を利用している [6]。出力形式にはビューアの普及度や仕様が公開されているという観点から Flash 形式を基本としている [7]。

2.2 固定サイズによる検出時モアレの発生機構

階調近似処理において、小領域は n 画素 $\times n$ 画素の固定サイズである。これは、再サンプリング処理と等価である。網点のような周期性の強い画像に再サンプリングを行うと、モアレが発生する場合がある。本手法の場合、網点面積率に本来の値と異なるうねりが加わり、正確な値が求められなくなる。これが検出時モアレである。

この過程を模式的に表した様子を図 2 に示す。図 2(a) は、網点を含む画像の 1 列を抜粋したものである。図 2(b) は、図 2(a) の画素を濃度に置き換えて表した図である。また、点線は仮想的な濃度を示している。図 2(b) を矢印で示す等間隔で網点面積率、すなわち濃度を計算したのが図 2(c) である。濃度にうねりが生じているのが分かる。固定サイズでも、網点の持つ周期と整合性がとれれば、検出時モアレは生じない。図 2(d) に示すように等間隔で濃度を計算すれば、正しく求められる。網点周期は用いる画像によって異なる。また、同じ画像内でも網点領域毎に異なる。従来手法による、画像毎に固定サイズを与える手法では常に検出時モアレが発生する可

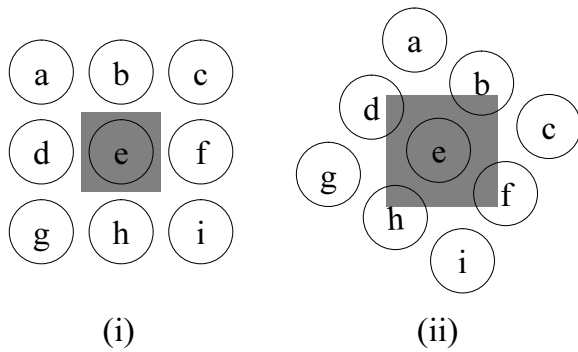


図 3 網点周期を利用した小領域の定義

能性がある。また、網点周期が整数でない場合の対応は困難である。

3. 網点周期を用いた改良手法

3.1 網点周期の取得手法

網点写真をコピーや FAX するような環境において、検出時モアレを発生させずに 2 値化する研究がすでになされている [8]。網点写真を 16 画素/mm の分解能のドラムスキャナを用い、1 画素あたり 8 ビットのグレースケールで入力する。ラインメモリを用い、主走査方向のみ適応的な処理を行い、副走査方向は 4 ラインで固定となっている。現在の環境では、より高解像度で入力することが可能である。また、1 枚の画像をメモリーに納めることが可能となり、走査方向を限定する必要はない。しかしながら、本研究では入力画像として 2 値画像を想定している。これらの点を考慮し、網点周期を取得する手法について検討する。

一般に、網点写真をサンプリングすると、網点周期に相当する間隔で濃度が極大値、極小値を示す性質がある。つまり、この極値同士の間隔から網点周期を検出できる。本性質は、ある濃度以上の網点に対しては、平面だけでなく走査方向のみに対しても成り立つ。しかし、2 値画像の場合、極値を定義するのは困難である。また、網点写真は本来 2 値画像であり、点の濃度は一定である。そこで、網点を構成する点を円形で近似し、濃度が中心からの距離に反比例すると考える。この時、濃度の極大値を示す画素（極点）は連結画素の中点に一致する。円を横切る直線において、中点が円の中心に最も近いからである。次に、図 3 を用いて説明する。a~i の丸はそれぞれ網点を構成する点を表す。図 3(i) において、近傍 3 つの網点 d, e, f の極点について考える。隣り合う極点同士の距離を測り、この 2 つの距離が近ければ周期性を有していると判断する。同様に図 3(ii) において網点 e に注目すると、水平方向には g, e, c の 3 点、垂直方向には a, e, i の 3 点について極点同士の距離が近い。他の組み合わせは、極点同士の距離が異なる。

これらをまとめると式 (1) のようになる。ここで、変数 ps は黒画素の開始座標、 pe は黒画素の終了座標を表

し、添え字は同一ライン上での順番を表す。

$$\left| \left(\frac{ps_n + pe_n}{2} - \frac{ps_{n-1} + pe_{n-1}}{2} \right) - \left(\frac{ps_{n+1} + pe_{n+1}}{2} - \frac{ps_n + pe_n}{2} \right) \right| < \frac{th}{2} \quad (1)$$

式を整理すると、

$$|-(ps_{n-1} + pe_{n-1}) + 2(ps_n + pe_n) - (ps_{n+1} + pe_{n+1})| < th \quad (2)$$

となる。この条件式を満たしている場合、それぞれの点間には周期性を有していると判断できる。また、 $(ps_n + pe_n)/2$ 近傍は網点の中心候補となる。以上の処理を水平、垂直方向に対して行い、両方向に対して網点の中心候補であると判断された点を網点中心とする。以上の処理により、網点中心、網点中心の水平、垂直方向に対する網点周期が検出される。

3.2 小領域の定義と濃度検出法

2.2 で述べたように、網点周期を無視した固定サイズの小領域を用いると、検出時モアレが発生する。網点周期内での平均濃度と網点面積率を一致させることで、検出時モアレの発生を低減できる。そこで、すでに抽出された網点中心とその周期を利用して、網点面積率を計算する。しかし、網点の傾きは正確に 45 度や 90 度であるとは限らない。網点の向きを含めた正確な周期を検出するのは自己相関を取るなどの手法が必要となり複雑である。ここでは、平面的に正確な周期を求めることが目的ではなく、検出時モアレを発生させないように網点面積率が計算できればよい。そこで、網点中心に対して水平、垂直方向の網点周期のみを用いる。

図 3(i) において、点 e に注目する。水平方向の網点周期としては、点 d と点 e の距離、点 e と点 f の距離である。1 周期分は、点 d と点 e の中点から点 e と点 f の中点までであると見なせる。同様に垂直方向の 1 周期分は、点 b と点 e の中点から点 e と点 h の中点までであると見なせる。グレーで囲まれた領域を点 e に対する小領域として、網点面積率を計算する。同様に図 3(ii) において、点 e の小領域はグレーの領域となる。これらを式で表すと以下ようになる。ここで、Black は黒画素なら 1、白画素なら 0 を返す関数である。また tv は網点面積率である。

$$sx = \frac{pxe_{n-1} + pxs_n}{2} \quad (3)$$

$$ex = \frac{pxe_n + pxs_{n+1}}{2} \quad (4)$$

$$sy = \frac{pye_{n-1} + pys_n}{2} \quad (5)$$

$$ey = \frac{pye_n + pys_{n+1}}{2} \quad (6)$$

$$num = \sum_{x=sx}^{ex} \sum_{y=sy}^{ey} Black(x, y) \quad (7)$$

$$area = \left\{ \frac{1}{2} \left(\frac{pxs_n + pxe_n}{2} - \frac{pxs_{n-1} + pxe_{n-1}}{2} \right) \right.$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{pxs_{n+1} + pxe_{n+1}}{2} - \frac{pxs_n + pxe_n}{2} \\
& \times \frac{1}{2} \left(\frac{pys_n + pye_n}{2} - \frac{pys_{n-1} + pye_{n-1}}{2} \right. \\
& \left. + \frac{pys_{n+1} + pye_{n+1}}{2} - \frac{pys_n + pye_n}{2} \right) \quad (8) \\
& = \frac{1}{4} (- (pxs_{n-1} + pxe_{n-1}) + 2 (pxs_n + pxe_n) \\
& - (pxs_{n+1} + pxe_{n+1})) \times (- (pys_{n-1} + pye_{n-1}) \\
& + 2 (pys_n + pye_n) - (pys_{n+1} + pye_{n+1})) \quad (9) \\
\text{tv} & = \frac{\text{num}}{\text{area}} \quad (10)
\end{aligned}$$

最後に、網点領域内のすべての網点中心座標と、その網点面積率を利用して、平面の方程式 $z = ax + by + c$ に代入する。連立 1 次方程式の最小 2 乗解を求め、濃度勾配を検出する。

4. シミュレーション実験及び評価

4.1 評価手法及び評価項目

計算機内で階調のグラデーションを発生させ、網点法により生成された 2 値画像を用いて性能評価をする。グラデーションを発生させるときに、濃度やグラデーションの向き、勾配が既知となる。また、網点法を適用するとき、線数や傾きが既知となる。ただし、網点法のアルゴリズムの種類によって、出力される 2 値画像は異なる。

本手法において、評価すべき項目は以下の通りである。まず、均等濃度においては、本手法により得られる濃度が理論濃度に一致すること。また、線数、網点の傾きによらず安定して濃度が得られることを評価する。

市販のスクリーン網点では、網点の傾きとグラデーションの向きは一定の関係にあるので、網点の傾きに関する評価は省略できる。また、グラデーションの勾配は、開始濃度、終了濃度、グラデーションの長さの 3 項目により規定される。しかし、開始濃度を 0% に固定し、終了濃度と長さのみを変数としても一般性は保たれると考えられる。以上より、グラデーションにおいては、本手法により得られる方向が理論方向に一致すること。本手法により得られる終了濃度が理論終了濃度に一致すること。また、線数や長さによらず安定して向きと終了濃度が得られることを評価する。

マンガ符号化において、階調近似を行う目的は、網点の除去と、失われた画像の再現性を補完することである。そして、網点による点感が失われる点は考慮しない。そこで、濃度は概ね理論値通りであれば十分である。特に、階調は網点法により量子化されており、必ずしも理論値通りにはならない。また、グラデーションの向きも、90 度や 180 度異なっているのは再現性を補完しているとは言えないが、10 度や 20 度程度異なっているも再現性に問題は無いと考えられる。

表 1 網点周期を示す表

解像度	線数	スクリーン角度	
		45 度	90 度
150dpi	30.0 線	7.1 画素	5.0 画素
	42.5 線	5.0 画素	3.5 画素
	60.0 線	3.5 画素	2.5 画素
	85.0 線	2.5 画素	1.8 画素
	120.0 線	1.8 画素	1.3 画素
300dpi	30.0 線	14.1 画素	10.0 画素
	42.5 線	10.0 画素	7.1 画素
	60.0 線	7.1 画素	5.0 画素
	85.0 線	5.0 画素	3.5 画素
	120.0 線	3.5 画素	2.5 画素
600dpi	30.0 線	28.3 画素	20.0 画素
	42.5 線	20.0 画素	14.1 画素
	60.0 線	14.1 画素	10.0 画素
	85.0 線	10.0 画素	7.1 画素
	120.0 線	7.1 画素	5.0 画素
1200dpi	30.0 線	56.6 画素	40.0 画素
	42.5 線	39.9 画素	28.2 画素
	60.0 線	28.3 画素	20.0 画素
	85.0 線	20.0 画素	14.1 画素
	120.0 線	14.1 画素	10.0 画素

4.2 実験手順

解像度、線数、スクリーン角度と網点周期の画素数の関係を表 1 に示す。1 周期の画素数は解像度などによって異なるため、最大周期を定義するのはロバスト性にかける。そこで、極点間の距離の差によって周期性を判断している。まず、1 周期の画素数が整数で、周囲との濃度差がなければすべての点の形は同一となり、周期性を有すると判断するしきい値 th は 0 となる。また、本実験で用いている 300dpi、85 線の場合、1 周期は 3.5 画素に相当する。1 周期以上異なれば周期性を有していないことになる。そこで、本実験ではしきい値として 3 画素とした。

次に、均等濃度とグラデーションに分けて評価実験を行う。均等濃度の入力画像は、300dpi、300 画素 (25.4mm 相当) 四方の階調を発生させ、網点法により 2 値画像を生成する。濃度は 10% から 50% まで 10% 刻みで変化させる。線数は 60 線と 85 線とし、角度を 45 度から 90 度まで 5 度刻みで変化させる。グラデーションの入力画像は、300dpi、300 画素 $\times w$ 画素の長方形の階調を発生させる。 w は 90 画素 (7.62mm 相当) から 600 画素 (50.8mm 相当) まで 30 画素刻みで変化させる。開始濃度は 0% とし、終了濃度は 30% から 90% まで 10% 刻みで変化させる。均等濃度と同様に線数は 65 線と 85 線とし、角度を 45 度から 90 度まで 5 度刻みで変化させる。ただし、角度はグラデーションの向きと同様に変化させる。

上記の 2 値画像に対して、提案手法を適用し、領域内の最大濃度、グラデーションの方向を検出した。ただし、均等濃度の場合グラデーションの方向は無視した。また、グラデーションの終了濃度は領域内の最大濃度と

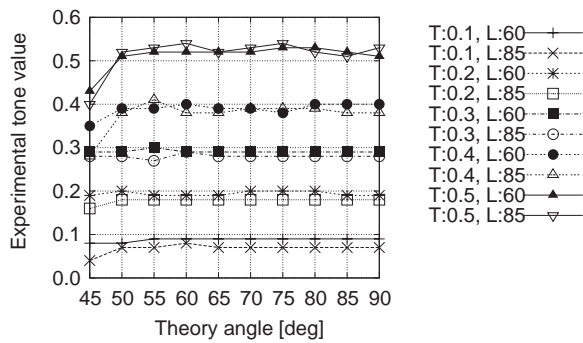


図 4 均等濃度における網点角度と検出濃度の関係

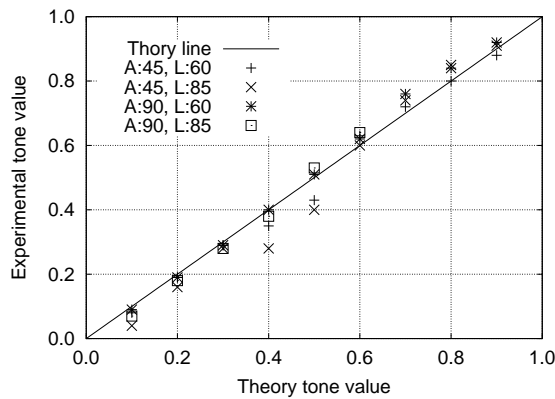


図 5 均等濃度における理論濃度と検出濃度の関係

同じであると考えられる。これは、グラデーションの方向が正しく検出されている場合のみ成立する。つまり、グラデーションの方向が正しく検出されなかった場合、最大濃度を用いてグラデーションの終了濃度を評価することは出来ない。

4.3 実験結果と考察

図 4～図 11 に結果を示す。図中の T は濃度，L は線数，A は網点角度またはグラデーションの向き，G はグラデーションの長さを表す。

均等濃度網点に対する結果を示す。まず，60 線と 85 線，濃度 10% から 50% に対する，網点角度と検出濃度の関係を図 4 に示す。線数や網点角度によらず，概ね 3% 以内の誤差で濃度が検出されることが確認できる。しかし，10% 程度低く濃度が検出されている場合もあり，特定の網点形状によっては小領域を広く取ってしまう可能性がある。次に，60 線と 85 線，網点角度 45 度と 90 度に対する，理論濃度と検出濃度の関係を図 5 に示す。線数や網点角度によらず概ね理論直線にそって濃度が検出されることが確認できる。しかし，10% 程度低く濃度が検出される場合もあり，先に述べたように特定の網点形状に対して検出精度が落ちている。

次に，グラデーション網点に対する結果を示す。まず，グラデーションの長さを 10 (300 画素) で固定し，60 線と 85 線，濃度 30%，60%，90% に対する，理論グラデーション方向と検出方向の関係を図 6 に示す。また，

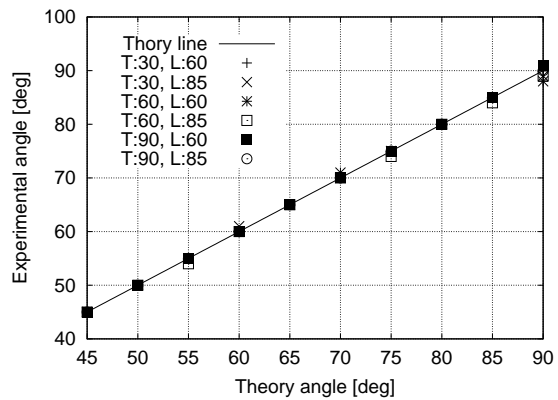


図 6 グラデーション方向検出の濃度に対するロバスト性

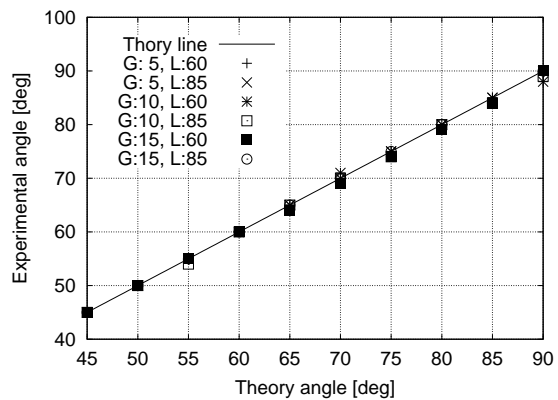


図 7 グラデーション方向検出の勾配に対するロバスト性

濃度を 60% で固定し，60 線と 85 線，グラデーションの長さ 5，10，15 に対する，理論グラデーション方向と検出方向の関係を図 7 に示す。検出グラデーション方向は理論グラデーション方向直線に沿っており，線数，濃度，グラデーションの長さによらず，良好にグラデーションの向きを検出できることが確認できる。検出誤差角度は最大 2 度であった。グラデーションの方向が高精度に検出できることが明らかとなったので，最大濃度を終了濃度として評価することが可能となる。

そして，グラデーションの長さを 10 (300 画素) で固定し，60 線と 85 線，グラデーション方向 45 度と 90 度に対する，理論濃度と検出濃度の関係を図 8 に示す。また，グラデーション方向を 45 度で固定し，60 線と 85 線，グラデーションの長さ 5，10，15 に対する，理論濃度と検出濃度の関係を図 9 に示す。これらの結果より，グラデーションの濃度はすべて理論値よりも低い値を示すことが明らかとなった。特に濃度 50%～60% では網点の形状が大きく変わるために，検出精度が他に比べて著しく落ちている。また，図 8，60 線，グラデーション方向 90 度の系列では理論濃度 80% 以上の検出精度が悪くなっている。入力画像での入力時モアレの発生が確認されており，これが原因と考えられる。これらの結果より，線数，グラデーション方向，勾配によらず，入力画像に

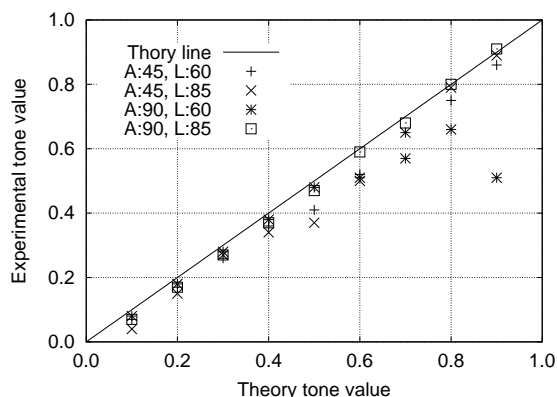


図 8 濃度検出のグラデーション方向に対するロバスト性

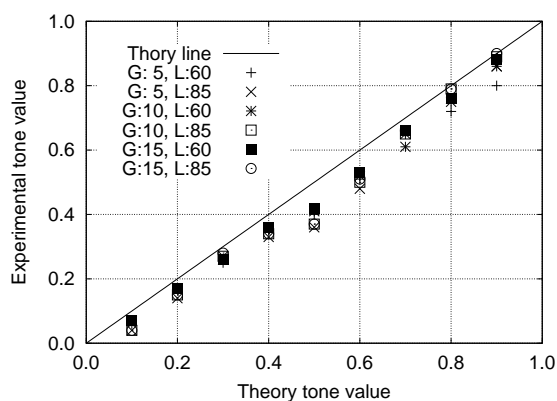


図 9 濃度検出のグラデーション勾配に対するロバスト性

入力時モアレが発生していない場合、グラデーションの濃度を検出できることが確認できる。

最後に、濃度 60% で固定し、60 線と 85 線、グラデーション方向 45 度と 90 度に対する、グラデーションの長ささと検出濃度の関係を図 10 に示す。また、グラデーション方向を 45 度で固定し、60 線と 85 線、濃度 30%、50%、70%、90% に対する、グラデーションの長ささと検出濃度の関係を図 11 に示す。グラデーション濃度の検出は 10% 程度の誤差を含んでおり、グラデーションの長さによって変動している。しかし、先に述べたように入力画像に入力時モアレが発生している場合があり、これが検出精度低下の一因と考えられる。

一連の実験により、提案手法はグラデーションの方向は精度良く検出できることが明らかとなった。また、均等濃度やグラデーションの濃度も、概ね線数や解像度によらず検出できることが確認できた。一方で、入力画像に入力時モアレが発生している場合があり、評価画像の作り方にも検討の余地がある。

5. まとめ

本稿では、階調近似処理における改良手法について検討した。まず、従来手法において検出時モアレが発生するメカニズムを示した。次に、網点周期を取得する手法

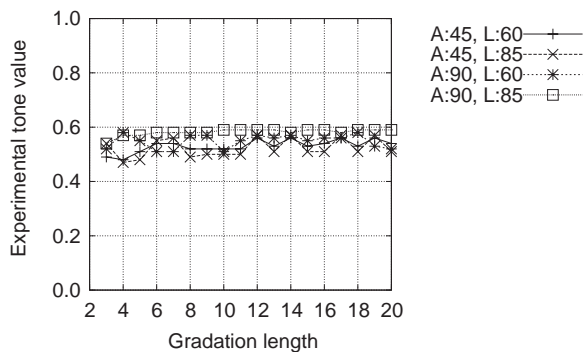


図 10 グラデーション方向におけるグラデーション勾配と検出濃度の関係

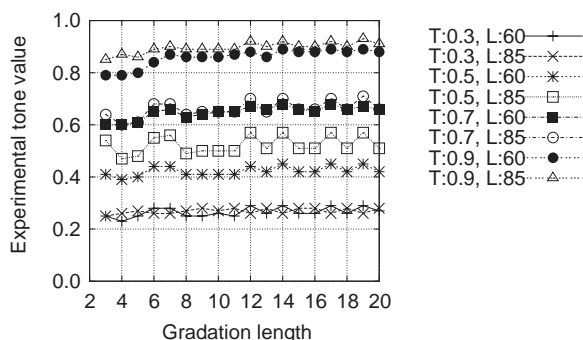


図 11 濃度におけるグラデーション勾配と検出濃度の関係

について検討した。そして、取得した周期を用いて網点面積率を求め、検出時モアレを低減させて濃度勾配を検出する手法を提案した。最後に、シミュレーション実験により、グラデーションの向きは精度良く、網点濃度やグラデーションの濃度は概ね検出できることを確認した。

文 献

- [1] 山下 春生, 南光孝彦, "2 値画像の多値化に関する検討—多値化解像度変換—," 画像電子学会誌, Vol.23, No.5, pp.464-470, 1994.
- [2] O. Nakagami, T. Miyazawa, H. Watanabe, H. Tomimaga, "A Study on two-layer coding for animation images," IEEE Int. Conf. on Multimedia Expo (ICME) 2002, WedAmPO3: Compression II, Aug. 2002.
- [3] 河村 圭, 渡辺 裕, 富永 英義, "マンガの超高压縮符号化に関する検討," 情処研報 2003-AVM-42, no.2, pp.7-16, Oct. 2003.
- [4] 河村 圭, 渡辺 裕, 富永 英義, "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," 情処研報 2003-AVM-43, no.8, Dec. 2003.
- [5] W.H. Press, B.P. Flannery, S.A. Teukolsky, W.T. Vetterling, "Numerical Recipes in C [日本語版]," 株式会社技術評論社, Aug. 1994.
- [6] "AutoTrace," <http://autotrace.sourceforge.net/>
- [7] "Macromedia Flash File Format (SWF) Specification," <http://www.macromedia.com/software/flash/open/licensing/fileformat/>
- [8] 上野 博, 辻 健三, "網点写真の二値化法," 画電学誌, vol.15, no.4, 1986.