

## ベクター表現に適した小数画素精度の 改良境界線検出に関する検討

河村 圭<sup>†</sup> 石井 大祐<sup>†</sup> 渡辺 裕<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 早稲田大学大学院 国際情報通信研究科  
〒 367-0035 埼玉県本庄市西富田 1011 A310  
E-mail: †kawamura@suou.waseda.jp

**あらまし** 画像入力装置の普及により、容易に紙面のデジタル化が可能になった。さらに、画像入力時間の短縮のために解像度は低い方が良い。一方で、解像度の異なる様々な端末に画像を表示するためには解像度変換が必須である。我々はこれまでに、解像度変換が容易なベクター表現に着目し、ベクター変換を考慮した小数画素精度の2値化を提案してきた。しかし、線に振動が生じてベクター変換効率を低下させる場合がある。そこで、本稿では、均等色領域に隣接するエッジに対して、その方向性を考慮した1次元フィルタによる補間を行い、2値化により境界線を取得する手法を提案する。1次元フィルタには解像度変換において線の振動を低減するためにステップ関数を用いる。

**キーワード** 解像度変換, 小数画素精度の2値化, ベクター表現, 画像符号化.

## A Study on Improved Subpixel Border Detection for Vector Representation

Kei KAWAMURA<sup>†</sup>, Daisuke ISHII<sup>†</sup>, and Hiroshi WATANABE<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Global Information and Telecommunication Studies, Waseda University,  
A310, 1011 Nishi-Tomida, Honjo-shi, Saitama 367-0035, Japan.  
E-mail: †kawamura@suou.waseda.jp

**Abstract** Digitizing paper have been convenient since image input devices are disseminated. Further, an input resolution is lower, an input speed is higher. On the other hand, a resolution conversion is mandatory technique in order to display the image on any panels which have varying resolutions. We have proposed subpixel binarization for vectorization, which is suitable for resolution conversion. However, vibrations of line drawings or border lines may occur, and then vectorization efficiency decreases. In this paper, we propose subpixel binarization based on a directive one-dimensional filtering along a border region of homogeneous tone. A step function is adopted as the one-dimensional filter for suppression of the vibration.

**Key words** Resolution conversion, sub-pixel binarization, vector representation, image coding.

### 1. はじめに

画像入力装置の普及により、容易に紙面のデジタル化が可能になった。取得した文書画像を解像度の異なる様々な端末に表示するためには解像度変換が必須であ

る。また、文書画像だけでなく線画や網点を含む紙面に対するデジタル化の需要が大きい[1]。次に、画像の取得時においてスキャン時間は短い方が良いため、低解像度が用いられることが多い。さらに JPEG 符号化方式の普及により、文書画像が低解像度多値画像で保存

される機会が増加している。例えば、原稿が B6 サイズ (128×182mm) 程度の場合、すでに蓄積されているデジタル画像は 900×1200 画素の多値画像が多い。これは約 150dpi に相当し、一般的に文書 2 値画像に必要なと言われる 300~400dpi に比べて半分程度である。

そこで、我々は解像度変換が容易なベクター表現に着目し、2 値化による境界線抽出及び境界線のベクター変換手法を提案している [2]~[4]。小数画素精度 (サブピクセル精度) の 2 値化を実現するために、2 次元フィルタを適用して解像度変換を行う。その結果、細部の再現性が高いベクター表現が得られる。しかし、本手法における 2 次元フィルタは、直線や境界線において振動を生じさせる場合があり、ベクター表現の符号化効率低下の原因となる。また、文書画像の特徴である均等色領域が多く含まれているという性質を十分に利用していない。以下では、このような性質を持つ画像を人工画像と呼ぶ。

従来から解像度変換を伴わない解像感の向上として、アンシャープマスクによるコントラスト強調がある。また、MRC (Mixed Raster Content) 符号化の仕組みに基づき、Guotong らによる解像感の強調表現手法 [5] や、Ricardo らによるソフトエッジ除去手法 [6] が提案されている。これらの手法は処理を行う領域を限定することで、過度の強調を抑制している。しかし、ベクター変換に必要な解像度や境界線の滑らかさが得られないなどの問題がある。

本稿では、ベクター変換を低解像度多値画像に適用することを目的とし、小数画素精度の境界線の取得するために 1 次元フィルタを適用する手法を提案する。提案手法は、人工画像の特徴である均等色領域の境界領域を検出し、さらに解像度変換において線の振動を低減するためにステップ関数を用いて補間を行う。

## 2. 従来手法の問題点と関連研究

### 2.1 2 次元フィルタ [3]

ラスター表現において周波数特性に基づく解像度変換として 2 次元フィルタを適用する手法が一般的である。

フィルタ処理によるリングング歪みは後段の 2 値化によって無視できるため、周波数応答のうちカットオフ周波数が理想的であることが望ましい。そこで、式 (1) に示すキュービックフィルタを用いる。

$$h(t) = \begin{cases} (a+2)|t|^3 - (a+3)|t|^2 + 1 & 0 \leq |t| < 1, \\ a|t|^3 - 5a|t|^2 + 8a|t| - 4a & 1 \leq |t| < 2, \\ 0 & 2 \leq |t|. \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 $a$  は定数であり、 $-1.5$  を採用した。1 次元フィルタの振幅を図 1 に、分離型 2 次元フィルタの振幅を図 2 に示す。

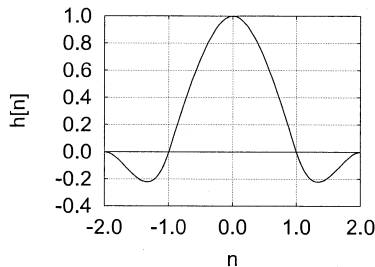


図 1 キュービックフィルタの振幅

Fig.1 An amplitude of cubic filter.

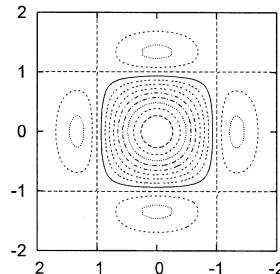


図 2 分離型 2 次元フィルタの振幅

Fig.2 An amplitude of separable 2D cubic filter.

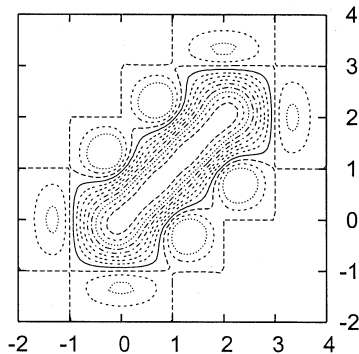


図 3 斜線と 2 次元フィルタの畳み込み

Fig.3 A convolution of slash and 2D cubic filter.

この 2 次元フィルタを用いて斜線と畳み込みを行った例を図 3 に示す。この図より、2 次元フィルタを用いて 2 値化を行うことが、線に振動を生じさせる原因であることがわかる。

さらに、キュービックフィルタは入力画素値を保存するため、アンチエイリアシング効果を解像度変換時に除去していないことがわかる。これは、均等色領域を有しているという性質を十分に利用していないことと同じである。

## 2.2 アンシャープマスク

アンチエイリアシング効果を除去し、コントラストの改善による均等色領域の境界復元法としてアンシャープマスクの利用が挙げられる。この手法は、高域強調フィルタの一種であり、エッジ領域周辺のみに変化を与える手法である。この手順を式 (2), (3) に示す。

$$f_g(x) = f(x) * G(x, \text{Radius}), \quad (2)$$
$$f_o(x) = \begin{cases} f(x) + (f(x) - f_g(x)) \times \text{Amount} \\ \quad \text{if } |f(x) - f_g(x)| > \text{Threshold}, \\ f(x) \\ \quad \text{else.} \end{cases} \quad (3)$$

ここで、 $f(x)$ ,  $f_g(x)$ ,  $f_o(x)$  はそれぞれ入力画像、ガウスフィルタを適用した画像、出力画像である。また、 $G(x, r)$  は半径  $r$  のガウス関数、 $*$  は畳込み演算子、**Radius**, **Amount**, **Threshold** はアンシャープマスクを制御するパラメータである。

この手法は解像度変換を伴わない場合に有効であり、エッジ領域のみに変化を与えるため、人工画像と自然画像が混在する画像に対して適用できるという利点がある。しかし、小数画素精度の補間が考慮されていないという問題がある。

## 2.3 解像度の強調表現手法

Guotong らは MRC 符号化において、文字や図形の再現度を改善する 2 値マスク画像の符号化、復号手法を提案している [5]。本手法は Resolution-Enhanced Rendering (RER) と呼ばれ、符号化時にはマスク画像に適応的なディザ処理を施し、復号時には非線形予測を用いてアルファ画像を生成する。

この手法はアンチエイリアシング効果を保存する方針であり、MRC の枠組みにおいて後方互換性のある効果的な手法である。しかし、マスク画像にはディザ処理による凹凸が付加されるため、この画像をベクター表現に変換するのは効率が悪い。また、高解像度画像の入力を前提としているため、低解像度画像では有効なディザ処理が出来ないという問題がある。

## 2.4 ソフトエッジ除去手法

Ricardo らは MRC 符号化の前処理として、スキャン時に生じたエッジ周辺におけるソフトエッジ（画素値の滑らかな遷移）を画像から除去する手法を提案している [6]。本手法は、マスク画像と取得画像のエッジ検出を行い、その共通領域を特定する。さらに、前景と背景の平均画素値を求め、共通領域において平均画素値との差がしきい値以下を有する画素をソフトエッジとして特定する。得られたソフトエッジを平均画素値で置き換えることで、これを除去する。

この手法は、アンシャープマスクとは異なり、ソフトエッジのみの領域を取得している。さらに、前景と背景が均等色領域であることを利用している。しかし、低解像度多値画像ではそもそもソフトエッジ領域が取得できないという問題がある。

## 3. 提案手法

### 3.1 人工画像の性質の利用

小数画素精度の 2 値化には補間が必要であるが、2 次元フィルタでは振動が生じることを明らかにした。同時に、人工画像の性質が十分に利用できていないことが挙げられる。また、補間が必要な領域の限定が効果的であることが関連研究よりわかる。

以上より本稿では、まず均等色領域の境界を特定し、次にエッジの方向性を考慮した 1 次元フィルタにより補間を行い、最後に 2 値化により境界線を取得する手法を提案する。

均等色領域の境界特定としては、画素値のクラスタリングや Watershed 法による領域分割などが挙げられる。本稿では境界領域が既知であるとし、既存手法の適用については今後の課題である。

ただし、補間対象領域の近傍画素はいずれかの均等色領域に所属しているとす。すなわち、均等色領域の近傍でない領域では、従来通り 2 次元フィルタによる補間を行う。また、2 値化も従来と同様に Niblack 法を用いる [3]。

### 3.2 ステップ関数による補間

補間対象の領域をステップ関数で補間する手順を述べる。画像を平面に、画素値を高さと見立てて表した例を図 4 に示す。この図において、丸矢印は画素の値、三角矢印はエッジの方向を表す。まず、各画素におけるエッジ方向を算出し、対象領域におけるエッジ方向を一つ決定する。次に、対象領域のエッジ方向に対して垂直方向（図 4 における白矢印）から見て、2 次元信号を 1 次元信号に縮退する。

白矢印の方向から見た 1 次元信号を図 5 に示す。この図において、点線はステップ関数、矢印は画素値の変化量を表す。さらに、各画素値を所属する均等色領域の画素値に変更する。最後に、画素値の変化量で内分した位置にステップ関数の原点を置く。原点の位置を 2 次元信号に戻した例を図 6 に示す。

以上の手順により、アンチエイリアシング効果を除去し、補間対象の領域を 1 次元のステップ関数により補間する。本手法は、均等色領域の画素値に制限がないため、境界特定が可能であればグレースケールの人工画像にも拡張可能である。

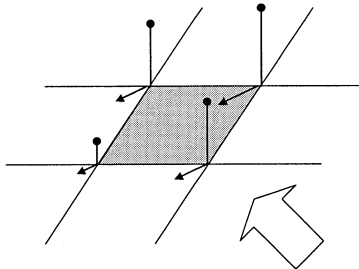


図 4 2次元信号の模式図

Fig. 4 A pattern diagram of 2D signals.

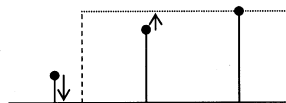


図 5 1次元信号への縮退

Fig. 5 A dimensionality reduction to 1D signals.

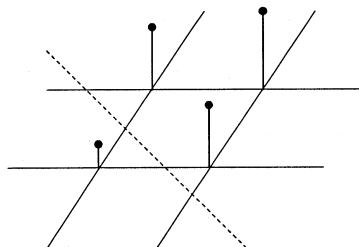


図 6 ステップ関数の原点

Fig. 6 An origin of step function.

#### 4. 実験と考察

対象領域と均等色領域の画素値が既知であることを前提に、ステップ関数による補間結果を示す。

まず、対象領域を含む画像の画素値を図 7 に示す。ここで、太線は原画像の画素境界、細線は 4 倍に解像度変換した場合の画素境界、数値は原画像における画素値、網掛け領域は対象領域を表す。

次に、補間結果を図 8 に示す。この結果より、左上、左下の領域は画素値 2 で充填され、右上、右下に境界が存在する。また、境界の位置は輝度変化量の内分により決定されていることが確認できる。

#### 5. まとめ

本稿では、小数画素精度の境界線の取得するために 1 次元フィルタを適用する手法を提案した。提案手法は、人工画像の特徴を利用することで、解像度変換時にアンチエイリアシング効果を除去し、さらにステップ関数により補間を行う。実験により、小数画素精度の境界線を

2				22				128				248		
0				8				96				229		
4				2				70				212		
0				0				51				202		

図 7 対象領域の画素値

Fig. 7 Pixel values of target region.

2				22				128				248		
0				2	2	2	2	2	2	223	223	229		
				2	2	2	2	2	2	223	223			
				2	2	2	2	2	2	223	223			
				2	2	2	2	2	2	223	223			
4				2	2	2	2	2	2	223	212			
				2	2	2	2	2	2	223				
				2	2	2	2	2	2	223				
				2	2	2	2	2	2	223				
0				0				51				202		

図 8 対象領域の補間例

Fig. 8 An example of interpolation.

生成することを確認した。

#### 文 献

- [1] 高木, “電子書籍ビジネス調査報告書 2004,” 株式会社インプレス ネットビジネスカンパニー インターネット生活研究所, 2004.
- [2] K. Kawamura, H. Watanabe, and H. Tominaga, “Vector representation of binary images containing halftone dots,” 2004 IEEE ICME Proceedings, Jun. 2004.
- [3] 河村, 山本, 渡辺, “文字や網点を含む低解像度多値画像のベクター表現に関する検討,” FIT2006, J-032, Sep. 2006.
- [4] 河村, 山本, 石井, 渡辺, “ベクター表現による文字や網点を含む画像符号化システム,” 情処研報 2006-AVM-54, no.6, Sep. 2006.
- [5] Guotong Feng and Charles A. Bouman, “High-Quality MRC Document Coding,” IEEE Transaction on Image Processing, vol.15, no.10, Oct. 2006.
- [6] Ricardo L. de Queiroz, “Pre-processing for MRC Layers of Scanned Images,” IEEE ICIP Proceedings., Oct. 2006.