

人工的な多値画像のベクター変換 Vectorization of Artificial Grayscale Images

河村 圭 石井 大祐 渡辺 裕
Kei KAWAMURA Daisuke ISHII Hiroshi WATANABE

早稲田大学大学院 国際情報通信研究科

Graduate School of Global Information and Telecommunication Studies, Waseda University.

Abstract: Varying high resolution displays are appeared, for which demands for scalable image contents are increased. A research object is vector conversion of artificial grayscale raster images. An input image is converted to homogeneous regions on sub-pixel accuracy without anti-aliasing. This scheme prevents a failure of image reconstruction caused by distortion of region borders. In this paper, we propose enhancement of Total Variation minimization in order to realize the above scheme. Then, numerical calculation algorithm is presented based on steepest decent method. The validity of proposed method is confirmed by an experimental result.

1 はじめに

電子ペーパーなど高解像度の表示端末が登場し、これらの端末に表示するコンテンツの需要が増大している。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、スキャンした紙面画像に対して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 [1]。

本稿では対象画像を広げ、人工的な多値画像をベクタ表現に変換することを目的とする。ベクター変換の歪みに起因する破綻が生じない領域分割を実現するために、入力画像の均等色化と小数画素精度の AA (Anti-Aliasing) 除去を提案する。近年注目されている TV (Total Variation) ノルムを拡張し、最急降下法による数値計算アルゴリズムを検討する。

2 関連研究

符号化において領域分割を利用した例として SIC (Segmented Image Coding) が挙げられる。また、非線形領域における数値計算手法が発展し、画像処理に適用される例が増加している。その中で領域分割の前処理として TV ノルムによる画像分解がある。

SIC は静止画像を領域分割し、内部情報と境界線をそれぞれ符号化する概念である [2]。多くの場合 SIC では整数画素精度で領域分割を行い、その境界線情報はロスレスで符号化される。また、AA が領域分割で考慮されていないため、AA 領域の差分エネルギーが大きくなる。

ここで、境界画素数は低ビットレートにおける符号化効率を決定するため、非常に重要である。そのため、SIC で提案されている領域分割手法は、均等色領域を抽出するだけでなく、極小領域を削減するために値が変動するテクスチャ領域を効率的に統合することに注意が払われている。

一方、TV ノルムは有界変動成分を計るノルムである。有界変動成分は不連続点を包含するため、画像のようにエッジを含む信号を近似することなく扱うことができ、その特徴から骨格画像と呼ばれる。なお、残差画像には主に振動成分 (テクスチャ) が含まれている。Chambolle らは、画像から有界変動成分を抽出する手法を提案している [3]。

画像 u の TV ノルムと、それと差分二乗の合計 (目的関数) を

$$J(u) = \sum_{1 \leq i, j \leq N} |(\nabla u)_{i, j}| \quad (1)$$

$$\min_{u \in X} \frac{\|u - g\|^2}{2\lambda} + \lambda J(u) \quad (2)$$

と定義し (ROF モデル)、これを解くことで骨格画像 u を得る。

TV の定義より、画像 u はエッジを保持する一方で振動成分が分離されている。しかし、異なる均等色領域が隣接している領域において、エッジは保存されるが強調されることはない。すなわち、領域内の均等色化が原理的に保証されていない。さらに、AA も骨格画像に含まれてしまう。

3 提案手法

3.1 対象画像と画像分解

ここで改めて、対象画像である人工的な多値画像を工学的に述べる。本来均等色領域から構成されていた高解像度多値画像が、画像入力時に AA を含む低解像度多値画像として得られたと仮定する。以下では、このような画像を自然画像に対して人工画像と呼ぶ。なお、均等色領域内にテクスチャが重畳されている場合も含めるとする。人工画像としてアニメーションやイラストなどが挙げられるが、自然画像に混在している場合もある。

与えられた人工画像は小数画素精度の均等色領域群に分解される。その結果、境界線に歪みを許容しても、再構成する際に誤補間が原理的に生じない。また、均等色化により失われたテクスチャは差分画像として変換符号化を適用する。このとき境界近傍ではテクスチャに周期性を仮定することで、先と同様に誤補間は生じない。小数画素精度の処理は入力画像を3倍に解像度変換して、整数精度の処理を適用する。

ただし、画像分解により境界線が過剰に強調されるアーチファクトが生じうる。これは、適切な平滑化フィルタにより解決可能である。さらに、解像度を入力画像と同一にすることで客観的な画質評価が容易に実現できる。

3.2 均等色化ノルムと目的関数

上記の領域分割を実現するために、前処理として与えられた画像を均等色化して骨格画像を得る。そこで、従来のTV最小化問題に対して、均等色化を実現する J_C と J_T ノルム、小数画素精度のAA除去を考慮する平滑化差分を導入する。

まず、均等色化を許容するためにTVノルムを拡張する。

$$J_T(u) = \sum_{1 \leq i,j \leq N} \begin{cases} 0 & |(\nabla u)_{i,j}| < T \\ |(\nabla u)_{i,j}| - T & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

次に、均等色化を実現するために、隣接画素との差分がゼロ以外の場合に定数となるノルムを導入する。

$$J_C(u) = \sum_{1 \leq i,j \leq N} \begin{cases} 0 & |(\nabla u)_{i,j}| = 0 \\ C & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

さらに、小数画素精度のAA除去による差分を過剰評価しないようにローパスフィルタ $D(\cdot)$ を用いて入力画像 g と骨格画像 u の差分を定義する。

$$\|D(u) - g\|^2 \quad (5)$$

最後に、ラグランジュ定数により目的関数を定義する。

$$\min_{u \in X} \frac{\|D(u) - g\|^2}{2} + \lambda J_T(u) + \mu J_C(u) \quad (6)$$

ここで、 $0 < \lambda, \mu, T, C$ は与えられた定数である。

3.3 最小化アルゴリズム

提案した目的関数を最急降下法により解く。ここで、

$$|(\nabla u)_{i,j}| = |u_{i+1,j+1} - u_{i+1,j}| + |u_{i,j+1} - u_{i,j}| + |u_{i+1,j+1} - u_{i,j+1}| + |u_{i+1,j} - u_{i,j}| \quad (7)$$

と定義し直す。その結果、 $J_T(\mathbf{u}_{i,j})$ は $u_{i,j}$ について偏微分可能となる。すなわち、4画素のうち最大と最小の画素値 U と L の差分の2倍がノルムの大きさとなり、最大と最小の値を平均に近づけるようにすれば、ノルムの大きさは必ず小さくなる。一方、 $J_C(\mathbf{u}_{i,j})$ は4画素が全て同じ値にならない限りノルムに変化がない。

以上の目的関数についての考察より、

$$\mathbf{u}_{i,j}^{n+1} = \begin{cases} \mathbf{u}_{i,j}^n - \alpha(\mathbf{u}_{i,j}^n - \mathbf{g}_{i,j} + \lambda \partial J_T(\mathbf{u}_{i,j}^n) |U - L|) & |U - L| > T \\ \overline{\mathbf{u}_{i,j}^n} - \alpha(\overline{\mathbf{u}_{i,j}^n} - \overline{\mathbf{g}_{i,j}}) & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

という手順で u を更新する。ここで、 n は更新回数、 α は最急降下法における定数である。

4 実験と考察

提案手法を実装し、実験を行った。人工画像としてQVGA (320 × 240画素) のアニメーション画像を用いる。

Fig. 1 に画像の160行目の列座標と輝度値の関係を拡大した様子を示す。振幅の小さい振動領域ではROFモデル

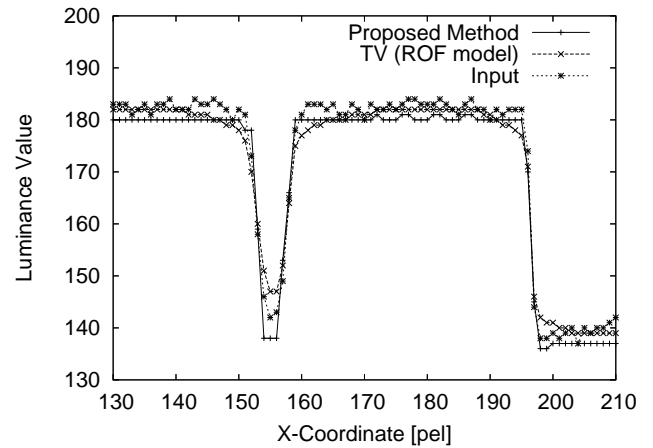


Figure 1 A part of the relation on 160 rows.

も提案手法も均等色化が実現されている。境界領域においてROFモデルではエッジが平滑化されているのに対して、提案手法では先鋭化されていることが確認できる。このように、提案手法ではアンチエイリアシングを考慮した均等色化が実現されている。なお、自然画像のテキスト領域において、提案手法でもROFモデルと同程度の平滑化が実現されることを確認している。

5 まとめ

本稿ではSICの概念に基づき、ベクトル表現による画像符号化のための人工画像を考慮した領域分割手法を提案した。まず、均等色化を実現するためのノルムと差分を提案した。さらに目的関数を最小化する手順を検討した。実験により、均等色化やアンチエイリアシングの除去が実現していることが確認できた。

謝辞

本研究は特別研究員奨励費(19・2363)の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] 河村ら, “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.
- [2] C.A. Christopoulos *et al.*, “Segmented image coding: Techniques and experimental results,” *Signal Processing: Image Communication* 11, pp.63-80, 1997.
- [3] A. Chambolle, “An Algorithm for Total Variation Minimization and Applications,” *Journal of Mathematical Imaging and Vision* 20: 89-97, 2004.

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
Phone: 0495-24-6143, Fax: 0495-24-6645
E-mail: kawamura@suou.waseda.jp