

グラデーションメッシュによる画像符号化の基礎検討

A Study on Image Coding by using Gradient Mesh

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: Gradient mesh technique realizes a photo-realistic vector art. Further, semi-automatic conversion method from a given raster image to gradient mesh with interactive operations has been proposed based on non-linear least square problem. In this paper, we examine an effectiveness of gradient mesh technique based on the image coding. We describe that an entire image is converted to gradient mesh.

1 はじめに

近年、ドロー系ソフトではグラデーションメッシュと呼ばれる写実的な (photo-realistic) ベクターアートを作成する強力なツールが提供されている。オブジェクトを矩形メッシュに分割し、頂点に色を与えるとともにメッシュ内を滑らかに塗りつぶす手法である。

本稿では、画像符号化の基礎ツールとして、グラデーションメッシュの有効性を確認する。すなわち、人手をかけて作成するのではなく、与えられたラスター画像をグラデーションメッシュに変換する手法を検討する。また、オブジェクトではなく画像全体を変換した場合の結果について考察を述べる。

2 関連研究

2.1 グラデーションメッシュ

商用ドロー系ソフトにおけるグラデーションメッシュの仕様は明らかにされていないが、本稿では Sun らの仕様を土台とする [1]。また、彼らはインタラクティブな操作を伴うグラデーションメッシュに変換する手法として、非線形最小二乗問題に帰結させて解く手法を提案している。

各メッシュは Ferguson Patch と呼ばれるパラメトリック平面によって構成されている。頂点の座標と、両辺の頂点における接線ベクトル、RGB 三原色がパラメータとして定義される。これを以下ではメッシュ点と呼ぶ。メッシュとメッシュ点の位置関係を図 1 に示す。また、媒介変数 u, v を用いた座標 m と色 f は

$$m(u, v) = VCQ_m C^t U^t, \quad f(u, v) = VCQ_c C^t U^t \quad (1)$$

で表される。ここで、

$$U = \begin{bmatrix} 1 & u & u^2 & u^3 \end{bmatrix}, V = \begin{bmatrix} 1 & v & v^2 & v^3 \end{bmatrix},$$
$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -3 & 3 & -2 & -1 \\ 2 & -2 & 1 & 1 \end{bmatrix}, Q_m = \begin{bmatrix} m^0 & m^1 & m_u^0 & m_u^1 \\ m^2 & m^3 & m_u^2 & m_u^3 \\ m_v^0 & m_v^1 & 0 & 0 \\ m_v^2 & m_v^3 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

とする。また、 Q_c は Q_m の要素を色にした行列である。

2.2 非線形最小二乗問題による解法

グラデーションメッシュの生成は、Ferguson Patch をラスター画像にフィットさせる問題と見なせる。そこで、未知数ベクトルを M として評価関数 E を

$$E(M) = \sum_{p=1}^P \sum_{0 \leq u, v < 1} \|I_p(m(u, v)) - f_p(u, v)\|^2 \quad (2)$$

とおく。ここで、 I は入力画像、添え字 p はメッシュ番号である。なお、 Q_c の要素 c は画像から前景・背景を考慮したサンプリングにより決定するため、未知数ではない。

この形式の最小化問題は非線形最小二乗 (NLLS) 問題と呼ばれ、Levenberg-Marquardt (LM) 法によって非常に良く解ける [2]。LM 法では、評価関数の各項を各未知数で偏微分したヤコビ行列が必要である。評価関数 $E(M)$ には画像が含まれているため、その偏微分には画像と微分ガウス関数の畳込みを利用する。他の項では式 (1) から解析的に偏微分を計算可能である。

3 提案手法

サンプリングによる色の誤推定を避けるために、数値計算により決定する手法を提案する。さらに色の接線ベクトルも省略して、色行列を

$$Q_c = \begin{bmatrix} c^0 & c^1 & 0 & 0 \\ c^2 & c^3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

とおく。色行列のヤコビ行列も解析的に計算可能である。

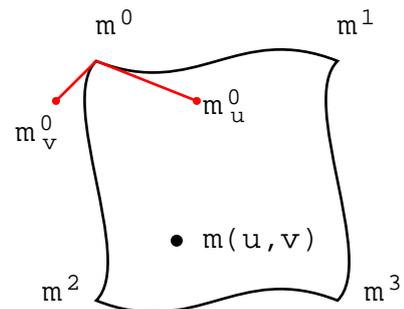


Figure 1 Ferguson patch with parameters.

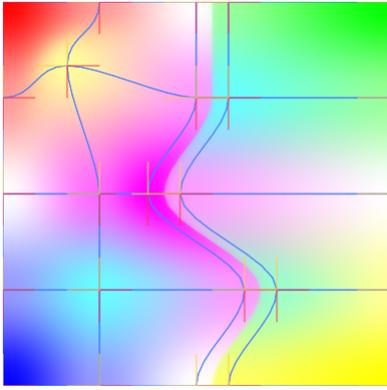


Figure 2 Input test figure [1].

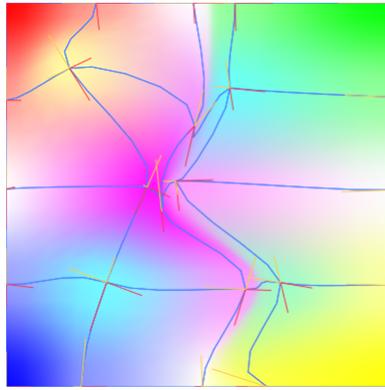


Figure 3 Output mesh data.



Figure 4 Input image; Lenna.



Figure 5 Outout image; Lenna.

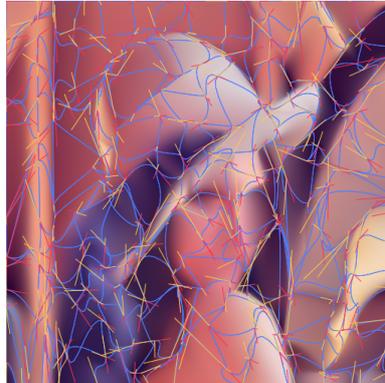


Figure 6 Output mesh data.

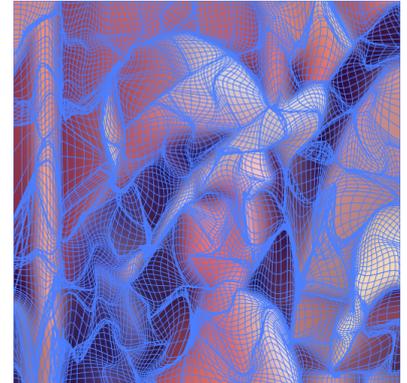


Figure 7 Fine grain of mesh.

画像符号化のツールとしては、オブジェクトの切り出しをせずに適用できる方が扱いが容易になる。そこで画像全体をグラデーションメッシュに変換する。NLLS 問題の初期解として、画像を等分割してメッシュ点を配置する。

4 実験と考察

既知のグラデーションメッシュとして図2を、自然画像として図4を使用した。図中の青線は Ferguson patch の境界線、赤線と黄線は接線ベクトルである。入力解像度はそれぞれ 48×48 画素、 128×128 画素、初期メッシュ点はそれぞれ 5×5 点、 17×17 点である。どちらも LM 法における反復回数は 30 回である。

既知のグラデーションメッシュにおける比較を行う。結果を図3に示す。そもそもこの図は、メッシュの幅を狭くするとエッジを表現できることを示している。実験結果からも図の中央上部と中央下部ではエッジが再現されている。また、入力画像と同様に滑らかな色変化も実現されている。接線ベクトルは入力画像と比較して回転したり、極端に短くなっている場合が見受けられる。

自然画像の結果を図5、メッシュ点を重畳した結果を図6、媒介変数を $1/8$ 刻みで変化させたサブメッシュを重畳した結果を図7に示す。メッシュ点が十分に無いため、髪や帽子などのこまかいテクスチャは完全に平滑化されている。同様の理由で目や唇など細かいパーツも平滑化されている。一方主観的に比較する限り、エッジの再現性は非常

に高い。サブメッシュがエッジ付近で大量に描画されていることから確認できる。なお、パラメータをテキスト形式で出力し、汎用テキスト圧縮ツール (ZZIP) により圧縮した場合約 5.7KB、図4を JPEG 方式で符号化した場合約 4.7KB であった。

5 まとめ

画像符号化の基礎ツールとして、グラデーションメッシュの有効性を確認する基礎実験を行った。実験より、テクスチャや細かいパーツは平滑化されてしまうが、滑らかな色変化やエッジの再現性が非常に高いことを確認した。

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] J. Sun, *et al.*, "Image Vectorization using Optimized Gradient Meshes," ACM TOG (Proc. of SIGGRAPH) Vol.26, No.3, 2007.
- [2] 金谷, "これなら分かる最適化数学," P.132-134, 共立出版, 2005.