

Delaunay 三角形分割による画質劣化の少ない圧縮 High Quality Image Compression Using Delaunay Triangulation

大久保 宏†
Hiroshi Ohkubo

西尾 孝治‡
Koji Nishio

小堀 研一‡
Ken-ichi Kobori

1. はじめに

近年、コンピュータやデジタルカメラの普及に伴い、高解像度のデジタルカラー画像を扱う機会が多くなっている。しかし、画像のデータ量は膨大であり、画像を効率的に保存、伝送するには画像圧縮の技術が必要となる。これまで、画像を繰り返し 4 等分に分割し、三角形パッチや双 1 次曲面パッチを用いて近似を行う手法^[1]が提案されている。しかし、この手法では画像を復元した際にブロック歪みが発生するという問題点がある。

一方、デジタル画像の解像度変換はデスクトップ・パブリッシングやデジタルアーカイブ等で利用され、より高品質な変換が求められている。

そこで本研究では、デジタルカラー画像を対象とし、2 次元画像を 3 次元の面とみなし、Delaunay 三角形分割^[2]を用いて任意の面分割を行う。そこで生成された三角形パッチを用いて画像の近似を行う手法を提案する。これにより圧縮だけでなく画像の拡大による画質劣化の軽減を図る。また、実験により本手法の圧縮の有効性を検証するとともに、画像の拡大手法としての有効性も検証する。

2. Delaunay 三角形分割

Delaunay 三角形分割は、頂点情報を入力することで領域を三角形の集合に分割することができる方法である。この分割方法は、分割により生成された三角形の外接円内に他のいずれの頂点も含まない、という性質をもつ。このため、分割によって歪みの少ない三角形が生成されるという特徴がある。この特徴を生かして歪みの少ない圧縮を行う。

3. 提案手法

本手法は 2 次元平面の画像の R,G,B の各輝度値を 3 次元空間の z 値とみなし、3 次元空間内の形状として定義する。また、入力画像の 4 隅の頂点で構成される 2 枚の三角形パッチを初期形状とする。初期形状を元に、三角形パッチを用いた近似誤差の計算と Delaunay 三角形分割を繰り返すことにより、近似画像を生成することで圧縮を行う。Delaunay 三角形を用いることで、初期形状は歪みの少ない三角形パッチに分割され、復元される画像や拡大される画像の歪みも少なくなる。以下に、本手法の処理手順を示す。

- ① 入力画像から 2 枚の三角形パッチで構成される初期形状を生成する。
- ② 1 枚の三角形パッチに着目し、その三角形パッチで近似される輝度値と入力画像の輝度値との誤差計算

を行い、評価値を算出する。

- ③ 評価値がある閾値以下である場合、三角形パッチ内に頂点を追加し、Delaunay 三角形分割を用いて三角形パッチを分割する。ここで、追加する頂点の位置は三角形パッチ内で近似誤差が最大の点とする。
- ④ すべての三角形パッチで評価値が閾値以上になるまで②と③の処理を繰り返す。図 1 に Delaunay 三角形分割を用いて分割した例を示す。同図から画像の被写体のエッジに沿った分割が行われていることがわかる。



(a) 入力画像(Lena)

(b) Delaunay 三角形分割

図 1 分割例

ここで、三角形パッチ内の近似輝度値 $A(x, y)$ は式 (1) から算出する。また、式 (1) の a, b, c は三角形パッチを構成する 3 頂点の輝度値(z)より求める。

$$A(x, y) = a + bx + cy \quad \text{式 (1)}$$

三角形パッチ内の近似精度は累積二乗誤差から定義した評価値 $SNRa$ を用いる。評価値 $SNRa$ は式 (2) から算出する。

$$SNRa = -10 \log_{10}(ASE / p^2) \quad \text{式 (2)}$$

ただし

$$ASE = \sum (S(x, y) - A(x, y))^2 \quad \text{式 (3)}$$

ここで、 ASE は三角形パッチ内の累積二乗誤差、 $S(x, y)$ は座標 (x, y) での入力画像の輝度値、 p は三角形パッチ内の輝度値の最大値を表す。

4. 実験と考察

提案手法の有効性を検証するために圧縮と拡大に関する実験を行った。実験に使用する画像は Lena(512×512)を用いた。

† 大阪工業大学 情報科学研究科

‡ 大阪工業大学 情報科学部 情報メディア学科

4.1 圧縮

入力画像 Lena に対して、画像を 4 等分して双 1 次曲面パッチで近似する手法を従来法とし、本手法と従来法の圧縮データに対して算術符号化を行い、各ビットレートでの信号対雑音比の比較を行った。その結果を図 2 に示す。図中の PSNR とは信号対雑音比を表し、式 (4) から算出する。この数値により定量的に画質を評価する。

$$PSNR = -10 \log_{10}(MSE / p^2) \quad \text{式 (4)}$$

$$MSE = \sum (S(x, y) - A(x, y))^2 / N \quad \text{式 (5)}$$

ここで、式 (5) の MSE は平均二乗誤差を表し、N は画素数を表す。

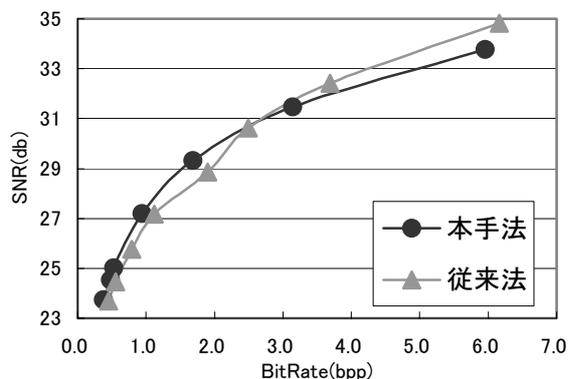
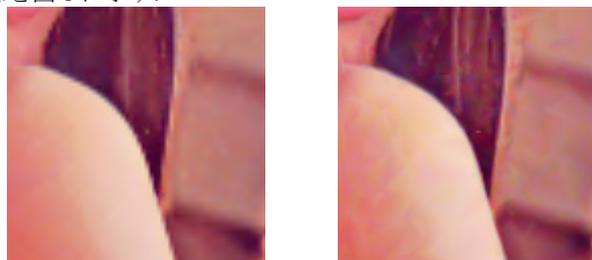


図 2 圧縮率

図 2 から約 3.0bpp 以下に圧縮する場合、本手法の復元画像が従来法の復元画像よりも画質が高いことがわかる。また、圧縮率が同程度になる PSNR 約 31dB の復元画像の一部を図 3 に示す。



(a) 従来法 (b) 本手法

図 3 復元画像

図 3 から、同程度の PSNR であっても本手法で復元した画像は従来法に比べ被写体のエッジを滑らかに復元できていることがわかる。この理由として、本手法では被写体のエッジに沿って三角形分割が行われ、被写体のエッジと三角形パッチのエッジが一致するため、滑らかな画像が復元できると考えられる。また、復元画像の他の部分でも同様の傾向がみられた。

4.2 拡大

図 4 (a) に示す入力画像 Lena の一部に対して拡大の比率を縦横 4 倍とし、画像の拡大を行った。この実験では、一般的な拡大手法であるバイキュービック法とデジタルアーカイブ分野で利用されている市販ソフトウェア VFZ^[3] を従来法とした。同図(a)の白枠部分を各拡大手法で拡大した画像を同図(b),(c),(d)に示す。

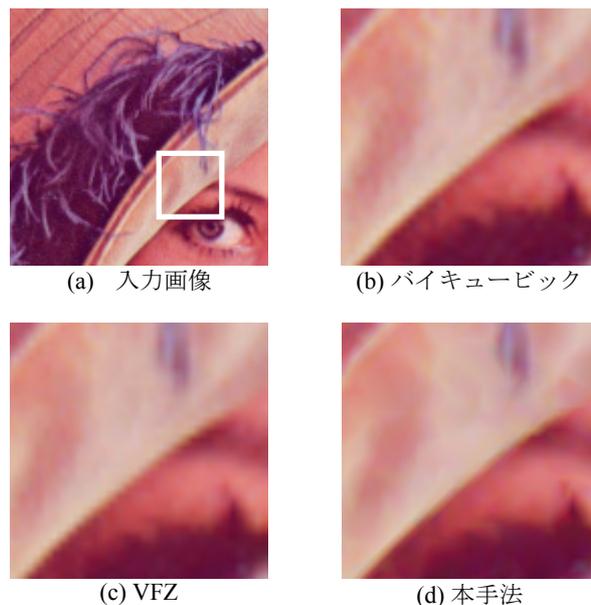


図 4 拡大画像

図 4 (b), (c) に示すバイキュービック法と VFZ による拡大では、被写体のエッジに沿ってブロック状の歪みが発生している。一方、同図(d)に示す本手法で拡大を行った場合、被写体のエッジに沿って滑らかな拡大画像を生成できていることがわかる。この理由として、復元のとくと同様に被写体のエッジに沿って三角形パッチのエッジが生成されているため、被写体のエッジを歪めることなく拡大画像が生成できるからである。

5. おわりに

本研究では、2 次元画像を 3 次元形状とみなし、三角形パッチで画像の近似を行った。また、三角形パッチの分割には Delaunay 三角形分割を用いた。これにより、従来法の復元画像で見られるブロック歪みを抑えることができた。また、画像拡大に関してもバイキュービック法や VFZ よりも滑らかな拡大画像を生成することができた。

今後の課題として、デジタルアーカイブ分野で用いられているような高解像度の画像を用いて実験を行う必要がある。また、圧縮処理において本手法は従来法に比べて 3 章の手順②のところで処理時間を要するという問題があるので、圧縮処理の高速化を図る予定である。

参考文献

- [1] 長谷川 誠, 山崎 一生: “可変ブロック分割と双 1 次曲面パッチ近似による画像データの圧縮”, 電子情報通信学会論文誌 D- II, Vol.J84-D- II, No.7, pp.1399-1408(2001)
- [2] 谷口 建男: “FEM のための要素自動分割—デローニー三角分割法の利用”, pp.9-27, 森北出版(1992)
- [3] 株式会社セラーテムテクノロジー: “VFZ”, <http://www.celartem.com/jp/home.html>