

9K-3

曲面モデルを用いた画像圧縮について

森田 啓義 太田 隆博
電気通信大学

1 はじめに

デジタル静止画像を高効率に圧縮するための1つの方法として、画像全体をサブサンプルして求められたサブ画像に対して、離散コサイン変換(DCT)符号[4]を適用するという単純な圧縮方法を考える。この方法では、1/50程度の低レートの圧縮が期待できるが、復元サブ画像からどのようにして元の大きさの画像を高品質に再現するかが重要な問題となる。

そこで、本稿では、サブ画像からの画像復元を曲面の補間問題として捉え、すでに著者らが提案している曲率ベクトル連続な双3次 Bézier 曲面の定義ベクトルを幾何学的に求めるアルゴリズム[1]に基づいた補間フィルタを新たに提案する。

提案方式の特色は、補間公式が単純な四則演算にもとづいているため、符号・復号過程を通じて処理の高速化が期待できる点と、低レートに圧縮した場合、DCT符号を含めた通常の直交変換法によく見られるブロック歪みがほとんど生じない点にある。

本稿では、この補間フィルタを用いることによって、サブ画像から元のサイズの画像を20~30dB程度の画質をもって復元できることを報告する。

2 β スプライン補間フィルタの導出

画像データを滑らかな曲面で近似するために、Barskyらによる $\beta-2$ スプライン曲面を用いる[2]。

$\beta-2$ スプライン曲面とは、定義ベクトルと呼ばれる、ある与えられた16個の3次元ベクトル $P_{ij}, 0 \leq i, j \leq 3$ によって定義される双3次の2変数多項式 $P(u, v)$ である:

$$P(u, v) = uM_{\beta}PM_{\beta}^T v^T$$

ここで、

$$u = (u^3, u^2, u^1, 1), v = (v^3, v^2, v^1, 1)$$

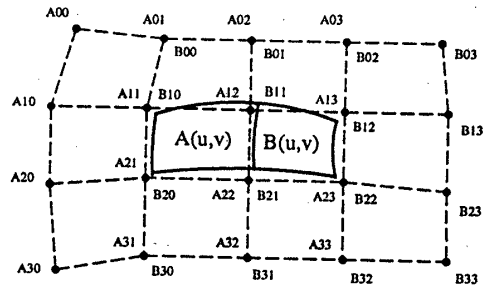


図1: $\beta-2$ スプライン曲面の接続

$$P = \begin{pmatrix} P_{00} & P_{01} & P_{02} & P_{03} \\ P_{10} & P_{11} & P_{12} & P_{13} \\ P_{20} & P_{21} & P_{22} & P_{23} \\ P_{30} & P_{31} & P_{32} & P_{33} \end{pmatrix}$$

$$M_{\beta} = \frac{1}{\beta+12} \begin{pmatrix} -2 & 2\beta+6 & -2\beta-6 & 2 \\ 6 & -3\beta-12 & 3\beta+6 & 0 \\ -6 & 0 & 6 & 0 \\ 2 & \beta+8 & 2 & 0 \end{pmatrix}$$

とおいた。2つのパラメータ u, v の範囲を $0 \leq u, v \leq 1$ に限定したとき、 $P(u, v)$ を $\beta-2$ スプライン曲面パッチと呼ぶ。

ある2つの $\beta-2$ スプライン曲面パッチが、図1に示すように、それぞれ16個の定義ベクトルのうち12個の定義ベクトルを共有している場合、2つのパッチの境界部分は一一致する。さらに、境界上において、境界をよぎるパラメータ方向に関する微分ベクトルと、曲面の形状から一意に定まる曲率ベクトルとが連続になる[2]。

$\beta-2$ スプライン曲面は、Bézier曲面[3]

$$Q(u, v) = uM_BQM_B^T v^T$$

として表現できる。ここに、

$$M_B = \begin{pmatrix} -1 & 3 & -3 & 1 \\ 3 & -6 & 3 & 0 \\ -3 & 3 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

とおいた。定義ベクトル行列 Q は $\beta-2$ スプライン曲面の定義ベクトル行列 P を用いて、

$$Q = (M_B^{-1}M_{\beta})P(M_B^{-1}M_{\beta})^T$$

†On Image Data Compression with Surface Models
Hiroyoshi MORITA and Takahiro OHTA
Univ. of Electro-Communications

として与えられる。

$\beta-2$ スプライン曲面を Bézier 曲面として表現すれば, Bézier 曲面パッチにおける隣接した定義ベクトル同士を結んで作られるネットによって, 実際の曲面形状を, $\beta-2$ スプライン曲面パッチのそれに比べて, より良く近似できるという利点がある。

P から Q を効率よく計算するために, まず, 中間的なベクトル $Q_{kl}^{(ij)}, 0 \leq i, j \leq 3, 0 \leq k, l \leq 1$

$$\begin{pmatrix} Q_{00}^{(ij)} \\ Q_{01}^{(ij)} \\ Q_{10}^{(ij)} \\ Q_{11}^{(ij)} \end{pmatrix} = (\beta + 12)^{-2} \begin{pmatrix} a & b & c & b \\ b & a & b & c \\ c & b & a & b \\ b & c & b & a \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P_{ij} \\ P_{i,j+1} \\ P_{i+1,j} \\ P_{i+1,j+1} \end{pmatrix}$$

$$a = (\beta + 8)^2, b = 4(\beta + 8), c = 16$$

を求めた上で, $0 \leq i, j \leq 1$ に対して,

$$\begin{aligned} Q_{i+1,j+1} &= Q_{ij}^{(11)} \\ Q_{3i,j+1} &= (Q_{1-i,j}^{(2i,1)} + Q_{ij}^{(11)})/2 \\ Q_{i+1,3j} &= (Q_{i,1-j}^{(1,2j)} + Q_{ij}^{(11)})/2 \\ Q_{3i,3j} &= (Q_{00}^{(i+1,j+1)} + Q_{01}^{(i+1,j)} + Q_{10}^{(i,j+1)} + Q_{11}^{(ij)})/4 \end{aligned}$$

を計算すればよい [1]. β は曲率の大きさを制御するパラメータで, 大きくするほど曲面は定義ベクトルがなすネットに近づくが, 以下の実験では簡単のために $\beta = 0$ とおいた。

3 符号化方法と実験結果

符号化は, 原画像を縦横 2 つおきに間引きしたサブ画像を作り, 続いてサブ画像を DCT 符号によって圧縮するという 2 段階のプロセスからなる。

復号化では, 最初に, サブ画像を DCT 符号によって復元し, その上で, 残りの間引かれた画素を補間する。そのために, サブ画像の i 行 j 列の振幅値 $S_{i,j}$ を, 3次元ベクトル $(i, j, S[i, j])$ と見なして, 前節の方法によって定義ベクトルを計算する。しかし, 間引かれた画素に対応した曲面上の点を直接求めるのではなく, 間引かれた画素の添字に対応した定義ベクトルの第 3 成分によって, その振幅値を近似する。正確に曲面上の点を求めるための計算量と, Bezier 曲面の凸包性 [3] を考慮すれば, この近似が妥当であることが分かる。

図 2 に, ある画像 (512×512) の 1 ラインにおける, 原画像と再生画像の振幅値の比較を示す。再生画像の振幅は, Bézier 曲面上の点ではなく, 曲面の定義点であるが, 十分滑らかであることが見てとれる。

実際の画像に提案方式を適用した結果を, 表 1 に示す。対象としては, 市販の画像ライブラリ (The Professional Photography Collection Gazelle Technologies 社) から取り出した 512 × 512 のカラー濃淡画像数枚で, サイズは R,G,B 画面を合わせて, 1 枚あたり 768K バイトである。同じ表には, 比較のため, DCT 符号による圧縮結果も掲

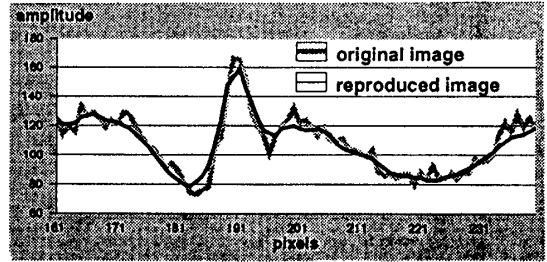


図 2: 原画像と再生画像における振幅波形の比較

表 1: 圧縮率と SN 比の関係 (提案方式 / DCT 符号)

画像番号	圧縮率 (%)	SN 比 (dB)
103	2.4/7.5	30.7/32.7
122	1.5/7.3	30.3/33.5
138	2.8/8.2	28.2/31.1
147	2.7/8.1	27.3/29.9
155	1.6/7.1	32.8/35.3
200	2.6/8.5	21.3/28.0

げている。表より, 提案方式は, 高い SN 比を保ったまま低レートに圧縮されていることが分かる。DCT による方法は, これ以上圧縮するとブロック歪みが大きくなり画質が著しく劣化する。さらに, 提案方式では, 計算量の多い DCT 符号をサブ画像にしか用いていないために, 処理時間は符号化・復号化処理を通して, 全画面に DCT 符号を用いる通常の方法に比べて約 1/4 に短縮された。

4 おわりに

曲率ベクトル連続な曲面接続アルゴリズムに基づく補間フィルタと DCT を組み合わせることによって, 高品質を保持したまま高効率な圧縮が達成できることを示した。さらに, 符号化ならびに復号化を含めた処理速度は, DCT のみを用いる場合に比べて, 高速化されることを明らかにした。今後の課題としては, 提案した補間フィルタとサブバンド符号化との関連性をさらに追求することが残されている。なお, 本研究の一部は平成 4 年度科研費 (奨励研究 A04750311) の援助による。

参考文献

- [1] 中野貫二他. 情報処理学会グラフィックスと CAD シンポジウム論文集, Vol. 22, No. 1, pp. 151-157, November 1986.
- [2] B. A. Barsky and T. D. DeRose. *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 5, No. 9, pp. 46-58, September 1985.
- [3] G. Farin. *Curves and Surfaces for Computer Aided Geometric Design*. Academic Press, 1990.
- [4] M. Nelson. *The Data Compression Book*. M&T Publishing, Inc., 1991.