B 2 1 5

MPU法に基づいたボリュームデータの補間と圧縮

井上 成治[○](立命館大学大学院), 小嶋 一行(立命館大学大学院)

仲田 晋(立命館大学), 田中 覚(立命館大学)

Interpolating and compressing volume data with MPU

Seiji INOUE, Kazuyuki KOJIMA, Susumu NAKATA and Satoshi TANAKA

ABSTRACT

Volume visualization is widely used in medical, scientific, and other fields. Since volume data are generally large, data compression techniques become important. In addition, volume data are usually discrete, and must be interpolated to execute volume-visualization algorithms. For high-quality visualization, higher-order smooth interpolation is required. But it is difficult to make such interpolation compatible with the data compression. Recently, the MPU (multi-level partition of unity) method has been developed to reconstruct a smooth implicit surface from a large number of 3D points. Our purpose is to construct a new version of the MPU method that is applicable to interpolate discrete volume data, generating a highly-smooth scalar field described with small-size data. It is demonstrated that the data size is reduced drastically, keeping the smooth feature of the interpolated scalar field.

Keywords: Volume visualization, Data compression, MPU, Smoothness

1. 序 論

現在, 医療分野や科学技術分野において, ボリュームビジュアライゼーションが重要になっている. これに用いられるデータは, 3次元対象の表面形状の情報だけでなく, 内部情報も記録されたボリュームデータである.

対象の内部情報も記録されるため, ボリュームデータは大規模となり, ボリュームビジュアライゼーションのメモリコストは非常に高い. そのため, ボリュームデータに対するデータ圧縮技術が求められている. 一方, 高品質な可視化のためには, 微分まで含めて連続な補間スカラー場の生成が必要であるが, そのような補間とデータ圧縮の両立は容易でない. また, 既存のボリュームデータ圧縮技術¹⁾の多くは, 正規格子構造のデータを対象としており, 不規則・非格子構造のデータに対する圧縮技術はまだ不十分である.

形状計測装置より得られる点群から3次元形状を再構成する方法として陰関数曲面を用いる手法がある. この手法は入力点群座標の規則性を問わず, 表面形状は連続関数におけるゼロ等値面として表される. 近年, 大規模点群を対象とし, 形状変化に応じて空間分割, 2次関数で補間を行う Multi-level Partition of Unity (MPU) 法²⁾が提案された.

本研究では, 大規模点群から陰関数曲面を生成する MPU 法を応用し, 離散的ボクセル値の集合として与えられるボリュームデータから, C^∞ 連続なスカラー場を再構成すると同時に, データ圧縮する手法を提案する.

2. ボリュームデータに対応した MPU 法

まず, 簡単に従来の MPU 法を説明する. 従来の MPU 法は離散点群から陰関数曲面を生成する手法である. 離散点群に対し MPU 法を適用した場合, 離散点群は2次関数で十分補間できるほど単純な形状になるまで8分木に基づいて空間分割され, 局所空間で補間される. ある座標における陰関数値は, その座標を含むすべての局所空間での関数値を重みつきで足し合わせることで得られる. 本節では, 上記の MPU 法をボリュームデータに対応するように改良を加えた Volume MPU 法を提案する.

2.1 ボリュームデータを補間する関数

本研究では局所空間を補間する関数として, 0次関数, 1次関数, 2次関数, Radial Basis Function(RBF)を用いた. 次数が高いほど, より複雑なスカラー場を補間することができる. しかしながら, 保存しなければならない係数が増えるため, データ圧縮効果は低くなる. RBFは高精度で補間可能であるが, データ圧縮効果は最も低い.

2.2 空間分割と補間

空間の分割は8分木に基づいて行う。分割され生成された局所空間をセルとよび、また、セルの外接球をサポートと呼ぶことにする。以下に空間分割および補間の手順を示す。

- 1) サポート内部に含まれるボクセルを探索する。
- 2) 1)で得られたボクセル値を0~2次の関数で順次に補間を試み、入力データとの誤差を調べていく。
- 3a) 2)で計算した誤差が閾値より小さければ、その補間関数を採用し、局所関数 $Q(p)$ とする。その後、係数を保存し分割を終了する。
- 3b) 2)で計算した誤差が閾値より大きければ、セルを再分割する。このとき8分割する中心座標は、セルの中心とする。
- *) 一定回数以上分割しても関数による補間が適切に行われない場合、1)で得られたボクセル値をRBFで補間し、局所関数 $Q(p)$ とする。

全空間で補間関数が定義されるまで、上記の処理を再帰的に行う。

2.3 スカラー値の評価

補間、生成されたスカラー場上で、ある点 p におけるスカラー値 $f(p)$ は

$$f(p) = \sum_{k=1}^n \varphi^{(k)}(p) Q^{(k)}(p) \quad (1)$$

として求められる。ただし、 n はセルの総数、 $\varphi^{(k)}(p)$ は

$$\sum_{k=1}^n \varphi^{(k)}(p) = 1 \quad (2)$$

を満たすB-Spline関数である。

3. 数値実験

Volume MPU法の有効性を示すために、圧縮率の調査を行った。以下にその結果を述べる。

対象としたのはTornadoと呼ばれる正規格子構造のボリュームデータである。Table 1に対象データのグリッドサイズとデータ量、及びVolume MPU法を適用した後のデータ量を示す。入力データはfloat型で記述されており、局所関数の係数もfloat型で保存している。したがって、データ量は以下のようにして算出した。

$$\text{入力データ量} = 4 \times (\text{グリッドサイズ}) \quad (\text{byte})$$

$$\text{出力データ量} = 4 \times (\text{局所関数の係数の総数}) \quad (\text{byte})$$

$$\text{圧縮率} = 100 \times \frac{(\text{出力データ})}{(\text{入力データ})} \quad (\%)$$

Tornadoの入出力データで表されるスカラー場の等値面を可視化した図を、それぞれFig.1に示す。

Fig.1より、スカラー場は高精度で再現できていることが分かる。また、Table 1より、入力データに比べ出力データ量は大きく減少し、高圧縮率が実現されている。

Fig. 1 Visualized Tornado volume data with isosurfaces :
(a) input data, (b) output data.

Table 1 Input and output data size, and the data compressibility.

		Tornado
Input	Grid size	256×256×256
	Data size [KB]	65,536
Output data size [KB]		9,749
Data compressibility [%]		14.9

以上から、Volume MPU法はボリュームデータの補間および圧縮に有効な方法であるといえる。

4. 結論

本研究では、陰関数曲面の生成手法であるMPU法をボリュームデータに応用し、ボリュームデータを補間および圧縮するVolume MPU法を提案した。また、数値実験として、その適用結果を示した。

実験結果から、正規格子構造のボリュームデータにVolume MPU法を適用することにより、滑らかなスカラー場として補間することができ、同時に大幅にデータ量を削減可能であることが示された。

前述の実験以外に、不規則・非正規格子構造のボリュームデータにVolume MPU法を適用する実験を行ったところ、正規格子構造のボリュームデータに適用した場合と同様の結果が得られた。(この結果の詳細は講演時に述べる。)

現状のVolume MPU法には、非常に複雑なスカラー場を表現するボリュームデータでは圧縮率が低下するという問題がある。今後はこのようなデータも圧縮できるよう、スカラー場の変化及び勾配に応じた空間分割と新たな補間関数の検討を行っていく予定である。

参考文献

- 1) H. T. Tanaka, Y. Takama and H. Wakabayashi : Accuracy-Based Sampling and Reconstruction with Adaptive Grid for Parallel Hierarchical Tetrahedrization, In proceedings of IEEE Volume Graphics, 2003, pp.79-86.
- 2) Y. Ohtake, A. Belyaev, M. Alexa, G. Turk and H.-P. Seidel : Multi-level Partition of Unity Implicits, ACM Transactions on Graphics, Vol. 22, No. 3 (2003), pp. 463-470.