Volume MPU 法を用いた格子構造に依存しないデータ補間

塚本勇介[†]　塚本勇介[†]　塚本勇介[†]　長谷川恭子[‡]　仲田晋[§]　田中覚[§]

立命館大学大学院　理工学研究科[†]　科学技術振興機構,CREST[‡]　立命館大学　情報理工学部[§]

1. 序論

ボリュームグラフィックスは，対象の内部構造やその振る舞いを可視化する技術であり，科学・工学の様々な分野における有効な視覚的洞察手段である[1]．対象となるボリュームデータには，立方体型あるいは直方体型の格子構造をとる正規格子型データ，それ以外（四面体型など）の格子構造をとる非正規格子型のデータ，そして格子構造を持たない非格子構造型データが存在する．以下では簡単のため，非正規格子型データと非格子型データを合わせて，「非正規格子データ」と呼ぶ．

近年，非正規格子データの処理・可視化の要求が高まっている．たとえば，しばしば構造解析で扱われるボリュームデータは四面体格子構造をとる非正規格子データである．また，地下圧力分布のような地質学的データは格子構造をとらない離散点群データであり，これも非正規格子データである．一方，ボリュームデータの可視化手法の多くは，対象が正規格子型データであることを前提としている．したがって，大規模な非正規格子データを十分な速度で可視化することは難しい．

また，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[2][3]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．Ohtake らによって，大規模点群を対象とし，形状変化に応じて空間を分割し 2 次関数で補間を行う Multi-level Partition of Unity（MPU）法[4]が提案された．

本論文では，MPU 法を応用した格子構造に依存しないボリュームデータの補間手法として，Volume MPU 法を提案する．提案手法では，全空間で 2 階微分まで連続である良質なスカラー場を生成する．これを用いることにより，リサンプリングによって正規格子型データの生成，高品質な可視化などが可能となる．

Data Interpolating Independent on Grating Structure with the Volume MPU Methods

† Yusuke Tsukamoto, Shinji Kataoka, Shin Ito, Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan Univ.

‡ Kyoko Hasegawa, Japan Science and Technology Agency, CREST

§ Susumu Nakata, Satoshi Tanaka, College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan Univ.

2. Volume MPU 法とボリュームデータの補間

Volume MPU 法が生成する連続スカラー場 $f(\boldsymbol{q})$ は，

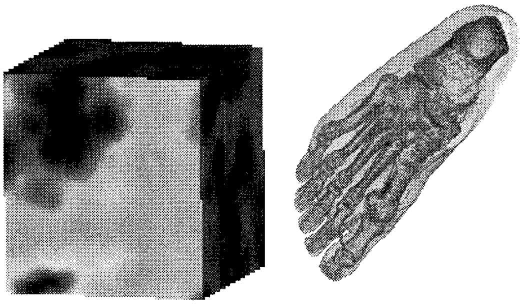
$$f(\boldsymbol{q}) = \sum_{i=1}^{N} \varphi_i(\boldsymbol{q}) Q_i(\boldsymbol{q}), \qquad (1)$$

の形で定義される．ただし N は分割により生成された領域の数である．また，$\varphi_i(\boldsymbol{q})$ は $f(\boldsymbol{q})$ の評価点 $\boldsymbol{q}$ が含まれる領域の局所補間関数 $Q_i(\boldsymbol{q})$ を滑らかに重ね合わせるためのコンパクト・サポート関数である．Volume MPU 法では要求した補間精度が満たされるまで空間の再分割と補間関数の生成を再帰的に行う．最後に各領域で得られた補間関数を滑らかに結合することで，全空間を記述する連続スカラー場 $f(\boldsymbol{q})$ を構成する．

局所補間関数 $Q_i(\boldsymbol{q})$ は，次数が高いほど自由度が高く各局所領域に含まれる離散的なボクセルデータを補間しやすい反面，保存しなければならない係数は増大する．本研究では $Q_i(\boldsymbol{q})$ として 0～2 次関数及び不連続関数の 4 種類を用いている．ここで，不連続関数とは，局所領域内に含まれる各ボクセルについて，そのスカラー値を最大値と最小値への近さにより 2 つのグループに分割し，この境界を表す境界関数及びそれぞれのグループでの補間関数を生成するものである．補間結果は，各領域の補間関数 2 つと境界関数の計 3 つにより構成される．領域の補間を行う際には 0 次，1 次，2 次，不連続関数の順に $Q_i(\boldsymbol{q})$ の補間精度評価を行い，補間精度が許容誤差に満たされた段階でこれを採用する．次数の低い補間関数から補間を試みることによって，メモリ負荷の小さい補間を実現できる．

Volume MPU 法において $f(\boldsymbol{q})$ の評価に必要な情報は $Q_i(\boldsymbol{q})$ のみであり，入力点群を必要としない．よって，入力点群は $f(\boldsymbol{q})$ を構成後は破棄することができ，メモリコストを節約することができる．また，$f(\boldsymbol{q})$ の評価の際に $\varphi_i(\boldsymbol{q})$ が持つサポートの範囲内にある局所領域 $Q_i(\boldsymbol{q})$ のみ評価することにより評価計算は高速となる．以上の事から数百万点にも及ぶ大規模点群に適用が可能となる．

上記の Volume MPU 法の手順では，格子構造の情報を全く用いていない．そのため格子構造の種類，有無に関わらず，全く同じソースコードでの計算が可能である．



(a) plasma　　　　　　(b) foot

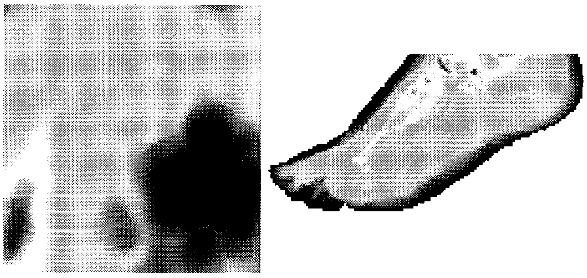
図 1：入力データの可視化

3. 検証実験

検証実験に用いた対象データを図 1 に示す．同図中に示す対象データ plasma は非正規格子型データであり，foot は離散的にボクセルが存在する非格子型データである．ボクセル数はそれぞれ，28 万点，700 万点である．非正規格子データでは，ひとつのボクセルが 3 次元座標と 1 つのスカラー値の情報をもつ．plasma 及び foot の各ボクセルはそれぞれ 1.010~1.897 及び 10~159 のスカラー値をもつ．本研究では，両データのスカラー値を 0.0～255.0 の実数値に正規化したデータを用いる．

本研究では，入力データの補間スカラー場の可視化および，入力・出力データのスカラー値誤差を，±1.0 の許容誤差を設定し検証を行った．ただし，誤差は，入力データの各ボクセルのスカラー値と各ボクセルの座標 $\boldsymbol{q}$ における $f(\boldsymbol{q})$の評価値との差として定義した．

補間により構成された連続スカラー場 $f(\boldsymbol{q})$の可視化結果を図 2 に示す．可視化は，レイキャスティング法を用いて行った．通常，非正規格子データにおけるレイキャスティング法の実装では，四面体のソートなどの面倒な処理が必要である．しかし，提案手法を用いて $f(\boldsymbol{q})$を全空間で生成しておけば，そのような処理をせずにレイキャスティング法を実装することができ，高品質な画像を得ることができる．



(a) plasma　　　　　　(b) foot

図 2：補間スカラー場 $f(\boldsymbol{q})$ の可視化結果

表 1：入力データと補間結果の誤差評価の結果

不連続関数		あり	なし
plasma	最小誤差	0.0	0.0
	最大誤差	1.892	1.00
	誤差平均	8.09×10^{-2}	7.02×10^{-2}
foot	最小誤差	0.0	0.0
	最大誤差	12.4	1.00
	誤差平均	1.57×10^{-1}	1.48×10^{-1}

また，誤差評価の結果を表 1 に示す．表 1 より，不連続関数を適用すると最大誤差が大きくなっていることがわかる．この原因としては，不連続関数を適用する場合に生成される境界関数のために，本来分けられるグループと異なるグループに分類され，本来補間されるべき関数と異なる補間関数によって評価される値が存在するためである．このような補間が行われたボクセルは plasma で 27 点，foot で 6870 点と入力ボクセル数と比較して大変少ないため，同表からわかるとおり誤差平均は小さくなる．従って，精度よく空間が補間されていることがわかる．

4. 結 論

提案手法により，非正規格子データを正確に補間し，リサンプリングすることにより正規格子化することができた．提案手法により得られた品質がよく，解像度の高い正規格子データに対しては，様々な既存手法が適用できる．これにより，高品質な可視化や物理解析などが可能になる．

今後は，大規模な非格子格子データを補間する実験を進める予定である．

参 考 文 献

[1] C.D. Hansen and C.R. Johnson: The Visualization Handbook, Academic Press, Elsevier Inc. (2005)

[2] G. Turk and J. F. O'Brien: Modeling with Implicit Surfaces that Interpolate, ACM Transactions on Graphics, Vol.21, No.4, pp.855-873, 2002.

[3] V.V Savchenko, A.A Pasko, O.G Okunev and T.L. Kunii : Function Representation of Solids Reconstructed from Scattered Surface points and Contours, Computer Graphics Forum, Vol.14, No.4 (1995), pp.181-188. 255128

[4] Y. Ohtake, A. Belyaev, and M. Alexa, G. Turk, and H.-P. Seidel: Multi-level Partition of Unity Implicits, ACM Transactions on Graphics, Vol.22, No.2 (2003) pp.463-470.