

## 区間型ボリューム抽出アルゴリズムの高速化

1C-10

竹島 由里子<sup>†</sup> 前田 裕治<sup>‡</sup> 藤代 一成<sup>†</sup><sup>†</sup>お茶の水女子大学 理学部<sup>‡</sup>筑波大学 大学院 工学研究科

## 1 はじめに

等値面化 (isosurfacing) は, 現在最も広く利用されているボリュームビジュアライゼーション手法の一つである. 等値面化の目的は, 与えられたボリュームから特定のフィールド値をもつサーフェスを抽出することにある. しかし実際には, 対象自身が持っている曖昧さや計算/計測誤差などにより, 意味のある結果が得られない場合がある. そこで著者らの一部は, 特定の区間に属するフィールド値をもつ部分ボリュームである区間型ボリューム (Interval volume) を, 等値面の一般形として提案した [1].

本稿では, 代表的な等値面化アルゴリズムであるマーチングキューブ (MC) 法を高速化するためのボリューム階層構造である, Wilhelms らの Branch-on-Need Octree (BONO) [2] を用いて, 文献 [1] に示された, MC 法に基づく区間型ボリューム抽出アルゴリズムを高速化する.

## 2 区間型ボリューム

$S$  を 3 次元ユークリッド空間内の有限矩形領域  $S = \{(x, y, z) \in R^3 | 0 \leq x \leq l_x, 0 \leq y \leq l_y, 0 \leq z \leq l_z\}$ ,  $d$  を  $S$  から有限閉区間  $[d_{min}, d_{max}]$  ( $\subset R$ ) へのフィールド関数とする. 対象となるボリューム  $V$  は対  $(S, d)$  で定義される.

区間型ボリューム  $IV$  は, フィールド関数  $d$  の値がある有限閉区間  $[\alpha, \beta]$  内に含まれるようなボリューム  $V$  の部分集合である:

$$IV(\alpha, \beta) = \{(p, d(p)) \mid p \in S, \alpha \leq d(p) \leq \beta, \\ d_{min} \leq \alpha, \beta \leq d_{max}\}$$

区間型ボリューム  $IV$  は, 区間のとり方に応じてさまざまな意味をもつ. 例えば,  $IV(d_{min}, d_{max}) = V$  であり,  $IV(\alpha, \alpha)$  は目的のフィールド値  $\alpha$  の等値面に縮退する. さらに,  $\alpha$  の周りに許容範囲  $\epsilon$  を考慮した “現実的な等値面” は,  $IV(\alpha - \epsilon, \alpha + \epsilon)$  ( $\epsilon \ll d_{max} - d_{min}$ ) で対応できる. これらから, 区間型ボリュームは等値面の一般形を与えていると言える.

## 3 区間型ボリュームの抽出

6 面体格子状のボクセルデータセットから, 区間型ボリュームの離散近似を抽出するアルゴリズムを, MC 法を拡張して求めることを考える. ここでは trilinear 補間の利用を前提とする.

拡張方針の一つは, 各キューブの頂点ボクセルのフィールド値を, 目的値と区間との大小関係により 3 値に分類し, 区間型ボリュームの境界パッチの全パターンを得ることである. しかし, 回転・鏡像変換による同相関係から同値類を構成しても, brute-force 的解決ができるパターン数に帰着されるとは考えられない.

そこで, ソリッドの集合演算の活用を試みる. すなわち, キューブ単位で  $IV(\alpha, d_{max})$  および  $IV(d_{min}, \beta)$  を求め, これらの積集合をとることにより, 区間型ボリューム  $IV(\alpha, \beta)$  を得る. 以下, 前者を  $\alpha$  ボリューム, 後者を  $\beta$  ボリュームと呼ぶことにする.

$\alpha$  あるいは  $\beta$  ボリュームを求めるには,  $\alpha, \beta$  に応じて, 等値面を境界としてどちらのキューブ領域を選択するかの判別や, 領域を各キューブごとに閉じるために, キューブ側面の一部も仮の境界パッチとして含めるなどの拡張を, MC 法に施せばよい. 詳細は文献 [1] にある.

A Fast Algorithm for Interval Volume Construction

Y. Takeshima<sup>†</sup>, Y. Maeda<sup>†</sup> and I. Fujishiro<sup>†</sup><sup>†</sup>Faculty of Science, Ochanomizu University,<sup>‡</sup>Doctoral Program in Engineering, Univ. of Tsukuba

## 4 BONO

BONO [2] の特徴は、構造的には  $(2^d)^3$  個のボクセルデータセットの階層的分割に対応する完全木でありながら、空の部分木には記憶領域の割当てを避けることにある。これにより、分割を行う方向やあるレベルに含まれるノード個数などの計算を簡単なビット演算によって実現しているだけでなく、各座標軸方向に変則的な個数のキューブが存在する場合の空間計算量をも改善している。

ボリューム  $V$  をルートとする。実際ルートを分割するとき、データをもつキューブが存在しない領域に対しては、ノードを与えない。例えば、“lower  $z$ ” 領域にデータをもつキューブが存在しなければ、 $z$  方向への分割を行わないため、ルートは 4 つの子ノードをもつ。以下、各々の子ノードをルートとする部分木に対して、同様の作業を表現されるキューブの個数が  $2^3$  となるまで再帰的に反復し、BONO を構成する。各ノードには、対応するサブボリューム内のフィールドの最大値・最小値が格納される。

任意のフィールド値に対して、BONO を走査していくことにより、対応する等値面が通過するキューブだけにアクセスできることから、高速化が実現される。また、辺は 4 つの隣接キューブに共有されることから、すでに計算した交点の情報をハッシュテーブルに保存・再利用することにより、一層の高速化が図れる。

## 5 区間型ボリュームの高速抽出

この BONO を利用して区間型ボリューム  $IV(\alpha, \beta)$  を高速に抽出するアルゴリズムの概略を述べる。

まず、対象となるボリュームデータに対し BONO を作成する。各ノードに与えられた最大値・最小値をそれぞれ  $I_{max}$ ,  $I_{min}$  とする。以下の 2 ケースは部分木の走査を必要としない:

Case 1:  $I_{max} < \alpha$  または  $\beta < I_{min}$  のとき  
全領域が  $IV$  の区間外。

Case 2:  $\alpha < I_{min}$  かつ  $I_{max} < \beta$  のとき  
全領域が  $IV$  の区間内。

その他の場合は、各部分木に対し同様の操作

を繰り返す。最終的に BONO のリーフに到達したとき、3 節の抽出アルゴリズムを実行し、対応領域の区間型ボリュームを求める。ただし、以下のような 2 ケースは、 $\alpha, \beta$  ボリュームのいずれか一方がそのサブボリューム全体となるので、必要となる一方だけを求めればよい:

Case 3:  $I_{min} < \alpha < I_{max} < \beta$  のとき  
 $\alpha$  ボリュームだけ求める。

Case 4:  $\alpha < I_{min} < \beta < I_{max}$  のとき  
 $\beta$  ボリュームだけ求める。

BONO の走査終了後に、求まった局所区間型ボリュームの和集合をとれば、 $IV(\alpha, \beta)$  が得られる。なお、ハッシュテーブルを用いたキャッシュの効果は、本法に対しても成り立つ。

## 6 まとめ

本稿では、BONO を用いた高速区間型ボリューム抽出アルゴリズムを提案した。一度構成した BONO は、同一のボリュームデータから異なる区間型ボリュームを求める場合にも再利用可能である点に注意されたい。現在、本高速化アルゴリズムを実装中である。発表当日は、具体例を用いてその効果を検証する予定である。

なお、別稿 [3] で区間型ボリュームのもつ特長を活かした有効な表示・計測法が提案されているので参照されたい。

## 参考文献

- [1] 藤代, 前田: Marching cubes の一般化: 高解像度区間型ボリューム抽出アルゴリズムの提案, 情処研報 94-CG-71-5, pp. 25-31 (1994)
- [2] Wilhelms, J. and Van Gelder, A.: “Oc-trees for Faster Isosurface Generation,” ACM TOG, Vol. 11, No. 3, pp. 201-227 (1992).
- [3] 前田, 藤代, 池辺: 区間型ボリュームに基づく効果的な対象解析方法の模索, 情処全大, 第 50 回, 1C-2 (1995)