

VR技術を用いた3次元メッシュ修正システムの構築

中央大学 学生員 ○田中 智
中央大学 正会員 檜山 和男

1. はじめに

近年、コンピュータ性能の急速な発展により、三次元数値解析が一般的に行われている。しかし、三次元数値解析においては、自動要素生成ソフトにより作成されたメッシュ形状に不具合が見つかった場合、それを適切に修正することは困難となる場合が多い。

著者らは、この問題点を解決するために、立体視可能な没入型 VR 空間でメッシュの修正を行うシステム¹⁾²⁾の構築を行ってきた。しかし、従来のシステムでは、要素細分化によるメッシュ修正において、要素を逐次指定して細分化を行う逐次処理機能しか実装されていなかったために、操作性の面で課題があった。そこで本研究では、要素細分割化によるメッシュ修正機能の拡張を行い、複数の要素を同時に指定して細分割することを可能にした。

2. 3次元メッシュ修正システムの概要

本システムは、三次元メッシュを VR 空間に立体表示し、利用者がコントローラのボタン操作によりメッシュの品質を修正するものである。要素としては、四面体一次要素を対象としている。なお、没入型 VR 環境としては中央大学の Holostage を用いた。

図-1 は、本システムを使用する際のフローを示した図である。まず、対象のメッシュデータを読み込み、次式に示す要素の品質評価式³⁾に基づいて、要素の品質評価を行う。

$$Ar = \frac{\left(\frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 Li^2\right)^{\frac{3}{2}}}{8.47967V} \quad (1)$$

ここで、式中の、 Ar は品質評価値、 Li は四面体を構成する各辺の長さ、 V は四面体の体積である。この品質評価値は、正四面体の時に最小値の 1 となり、歪みが大きくなるにつれて増大するものである。

品質評価を行った後に、VR 空間においてメッシュの描画を行う。この際、品質評価値が悪い要素は、要素の辺に色をつけて表示され、利用者はこの情報を基にコントローラを用いてボタン操作によりメッシュの修正を行っていく。

メッシュ修正の方法には、1) 節点を移動する方法、2) 要素を細分化する方法、の 2 種類がある。本報告で議論する要素の細分割機能は、図-2 に示すように 2 種類の方法がある。(a) の場合は、細分化に伴い細分化する要素以外のコネクティビティは変化しないので、複数要素を同時に細分化する場合でもアルゴリズム上の工夫なく修正が可能であるが、(b) の場合は、細分化する要素の周辺の要素のコネクティビティも変化するため、アルゴリズム上の工夫が必要となる。この点について、次項で述べる。

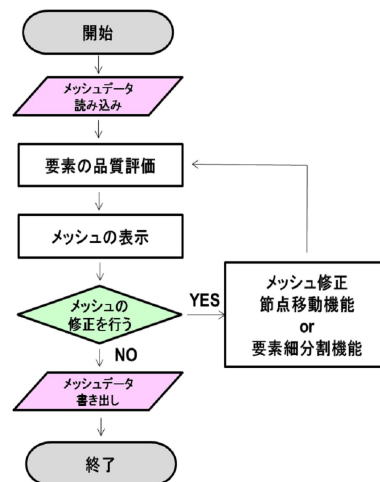


図-1 本システムのフロー図

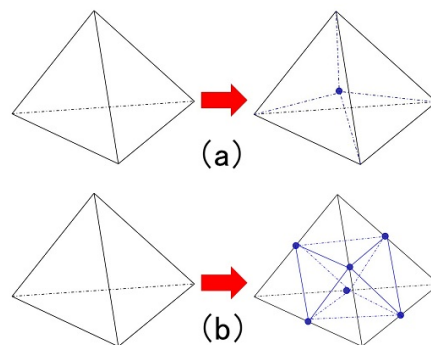


図-2 二種類の細分割パターン

全ての要素の修正が完了すると、メッシュデータを新たにファイル出力してシステムの終了となる。

3. 要素細分割機能の拡張

本研究では、図-2(b)の細分割機能において、複数の要素を同時に選択・修正することを可能にした。利用者は、コントローラから発する仮想ビームの先端が修正要素の内部に入った状態でボタンを押すことで、要素の選択を行うことができる。ビームの先端が要素内に含まれるか否は、点位置検索による判定手法⁴⁾を用いている。細分化に際しては、選択した要素の各辺の中点に節点が発生するため選択した要素の周辺の要素のコネクティビティに不具合が出ないように細分割する必要がある。そのため、細分化のパターンは、共通する辺の位置関係によって 64 パターンに分類できることを利用して周辺要素の分割を行うように機能を拡張した(図-3 参照)。この分割パターンは、要素の回転等を考慮するとさらに大きく 11 パターンに分類される。図-4 は共通する辺の数が 2 辺のパターンの例である。図中の上段の 2 個のパターンは要素の回転を考慮すると同一のものとなり、同様に下段の 2 個のパターンも同一のものとなる。

KeyWords: バーチャルリアリティ, CAVE, メッシュ修正, 要素細分割

連絡先: 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27

四面体要素を構成する辺は6本

 $2^6=64$ 通りのパターン

共通する辺の数	パターン数	パターン数(回転を考慮)
0辺	1	1
1辺	6	1
2辺	15	2
3辺	20	3
4辺	15	2
5辺	6	1
6辺	1	1
	合計:64	合計:11

図-3 各辺の midpoint による分割の周辺要素パターン数

共通する辺の数が2辺の15パターンはこのいずれかにあてはまるため、回転を考慮すると2パターンに分類されることになる。

拡張後の要素細分割機能のフロー図は図-5に示ようになる。選択した要素の要素番号とコネクティビティの情報から、選択した要素を構成する辺を全て抽出し、全ての要素に対して、選択した要素と共通する辺、およびその位置関係の検索を行う。そして、共通する辺の位置関係によって64の分割パターンのどのパターンになるかを調べ、さらに回転を考慮した11パターンに分類した後には細分割を行う。この方法により、図-2(b)に基づく要素細分割機能の適用性が向上し、より効率的な修正が可能となる。

4. 適用例

本手法の妥当性を示すために、図-6(a)に示す立方体領域のメッシュ修正に本手法を適用した。図中の青色要素が再分割する要素として選択した要素である。これらの要素の細分割により赤色の要素のコネクティビティも影響を受けることになる。前項で述べた手法により、細分割を行った結果が図-6(b)である。図より、適切に要素の細分割が行われていることが分かり、アルゴリズムの妥当性が確認された。図-7は、実際に没入型VR空間でメッシュの細分割を行なっている様子である。

5. おわりに

本論文では、既存のメッシュ修正システムに実装されていた要素選択機能と要素細分割機能の拡張を行った。その結果、システムの操作性が向上し、メッシュ修正をより効率的に行うことが可能となった。

今後は、本システムの有効性を検討するため、修正されたメッシュを用いた計算を行い、精度および安定性の向上について検討を行う予定である。

参考文献

- 1) 田中 智, 檜山 和男: VR技術を用いた3次元メッシュ修正システムの構築: 土木学会関東支部第39回技術研究発表会, 2012.
- 2) 檜山 和男, 山崎 輔, 陰山 聡, 大野 暢亮: VR技術を用いた非構造格子用プリ・ポスト処理システムの構築: 第25回数値流体力学シンポジウム, D07-2, 2011.
- 3) Lori A. Freitag, Patric M. Knupp: Tetrahedral mesh im-

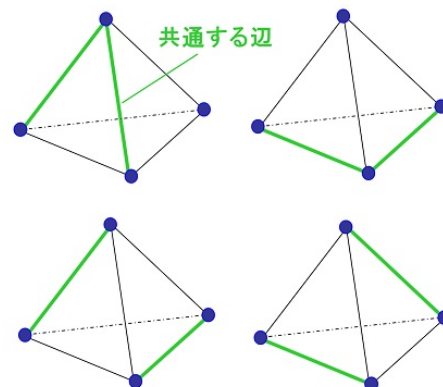


図-4 同一パターンの例

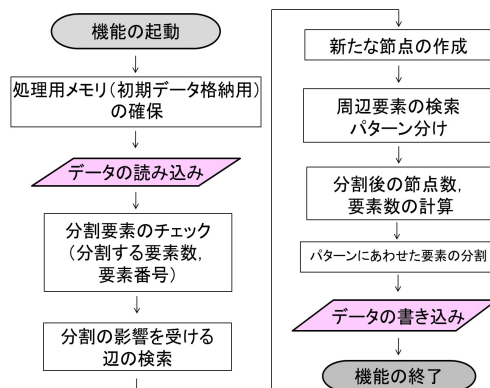


図-5 要素細分割機能のフロー図

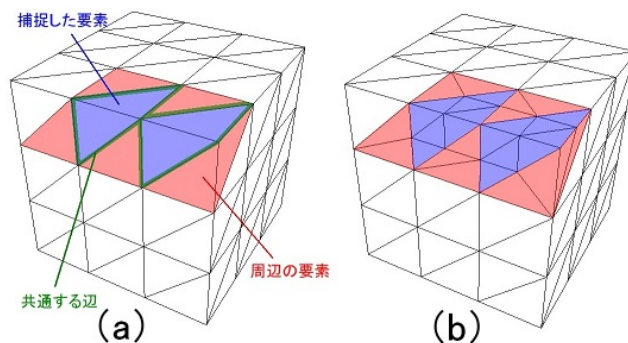


図-6 適用例

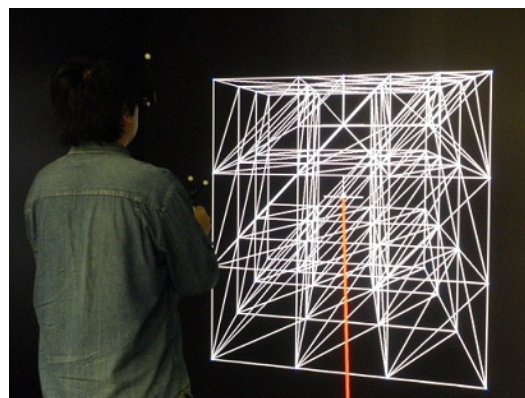


図-7 立方体領域のメッシュ(機能適用後)

provement via optimization of the element condition number, Int.J. Number. Methods. Eng., Vol.53, pp.1377-1391, 2002.

- 4) 白山 晋, 日本計算工学会 編: 計算力学レクチャーシリーズ 知的可視化: 善株式会社, 2006p, 2006.