

論文審査の結果の要旨

氏名 畢 重科

DT-MRI などの計測機器から得られる 3 次元拡散テンソル場離散サンプルデータの可視化は、脳神経繊維などの線特徴追跡の問題として、近年重要な研究対象となってきた。そして、そのような線特徴追跡には、離散サンプルからテンソル場全体を滑らかに補間する手法が必須の道具となる。しかし既存の補間手法は、テンソルの異方性特徴の回転を伴う退化点周辺では補間精度が低下してしまう。本学位論文における貢献の 1 つは、このような拡散テンソル場を、退化点特徴を考慮に入れて、テンソル場に内在する異方性特徴を適切に補間する手法を提案したことにある。

さらに本学位論文のもう 1 つの貢献は、拡散テンソル場の補間手法を、有限要素法の前処理である 4 辺形および 6 面体メッシュ生成に応用したことにある。有限要素法解析において、対象形状モデルを 4 辺形や 6 面体等の小さな基本要素形状に分割する処理は、後の解析結果の精度にも大きく影響するため重要である。しかしそれらを用いて対象形状内を適切に埋め尽くす問題は、未解決問題ととらえられているほど難しい。本学位論文では、この 4 辺形や 6 面体のメッシュ構造が、先の拡散テンソル場と双対の関係をもつことに着目し、テンソル場の補間手法を用いてメッシュ生成の問題の解決を図っている点が特筆に値する。

本学位論文は、6 章から構成される。各章の内容は以下の通りである。

まず第 1 章では、本学位論文の全体構成について記載されている。特に、拡散テンソル場の補間に得られる異方性特徴の方向を表す流線の配置と双対の関係をなすことを示し、テンソル場の補間手法を利用することで、有限要素法のメッシュ生成問題の解決を図る本学位論文の基本概念について述べられている。

第 2 章では、拡散テンソル場補間の従来手法を、行列表現と固有値・固有ベクトルを用いたものに分類し、各カテゴリーの特徴について説明するとともに、4 辺形・6 面体メッシュ生成の従来手法については、間接法と直接法に分類し、それぞれの特質を議論している。

第 3 章では、2 次元の拡散テンソル場の補間手法について記述している。まず、同様の異方性特徴をもつテンソルサンプル点をクラスタリングすることで、拡散テンソル場のグリッドサンプル点から退化点の存在範囲を限定する手法を提案している。そのあと、位置が同定された退化点周辺のテンソルサンプルにおいて、異方性特徴の対応付けに変更を加えることで、全体としてテンソルの異方性特徴が滑らかに補間できることを示している。

第 4 章では、第 3 章で明らかにした 2 次元拡散テンソル場の補間手法を、いかに 3 次元のテンソル場に拡張するかについて論じられている。2 次元の場合に比べて、3 次元の場合任意の軸がテンソルの回転軸となるため、テンソルサンプル同士の類似度の定義に変更を加えて対応することが記されている。また、実際の脳計測データにより取得された拡散テンソル場の神経繊維追跡結果について、既

存手法との比較により提案手法の優位性を示すとともに、いくつかの指標により提案手法の評価も行っている。

第5章は、今までの拡散テンソル場の補間手法を、有限要素法のためのメッシュ生成にどのように応用できるかが示されている。提案されるメッシュ生成手法の手順は、最初にユーザに境界条件を指定させたのち、その境界条件から、ポアソン方程式を離散的に解くことで対象形状の内部に拡散テンソル場を生成する。そのあと、そのテンソル場の異方性特徴を追跡することで、均等に配置された流線構造を対象形状内部に生成する。最後に、この流線構造の双対構造を計算することで、最終的なメッシュ構造を生成する。本章では、4辺形メッシュの生成事例について中心に議論が展開され、6面体メッシュに関してはその簡単な拡張で対応できる事例が示されている。また、いくつかの生成メッシュの質の評価についても検討を行っている。

最後に第6章において論文を総括し、今後の課題について言及を行なっている。

なお、本学位論文の第3、4章は、高橋成雄、藤代一成との、また、第5章は、櫻井大督、高橋成雄との共同研究であるが、数理的な定式化の大部分は論文提出者によるものであり、またその手法の実装および検証もすべて行なっている。これらより、本学位論文に記載されている学術的な内容においては、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

以上のように、拡散テンソル場の補間と有限要素法メッシュ生成の2つの別個の問題をその形状構造の双対性に基づき同じ問題として解決を図る点において、本学位論文は独創性も高く必要な研究と位置づけることができ、さらに、従来手法との比較によりその優位性も明らかにされている。審査委員会は、以上のような視点から本学位論文の貢献を高く評価し、博士号に十分値するものと判断した。

したがって、博士（科学）の学位を授与できると認める。

以上1, 996字