論文の内容の要旨

論文題目：Optimal Clustering on Surface Meshes and Its Topology Preservation

（表面メッシュ上での最適クラスタリングとその位相保存）

森口 昌樹

表面メッシュ上での最適クラスタリングは，メッシュの領域分割のための重要な道具である．メッシュ上でのクラスタリングでは，メッシュの頂点（もしくは面）がクラスタリングされ，各クラスタが連結であるという制約が課される．また，最適クラスタリングとは目的関数を最適にするクラスタリングのことで，これを計算することはほとんどの場合にはNP困難なので，実際には準最適なクラスタリングを計算することが目標とされる．メッシュの領域分割とは，各領域が一様な性質を持つようにメッシュを分割することで，テクスチャアトラス作成・形状近似・形状解析などの多くの応用を持つ．応用ごとに適切な目的関数を設定し，最適クラスタリングを計算することにより，一様な性質を持つ領域へとメッシュを分割することができる．

本論文は，表面メッシュ上での最適クラスタリングの計算法と位相保存について論じたもので，第1章で研究の背景などを述べ，第2章で基本事項の準備をした後，主要成果をそのあとの四つの章でまとめている．

第3章では，最適クラスタリングの効率的な初期化法を提案している．最適クラスタリングは，初期化法により初期クラスタリングを計算し，それに反復改善法を適用することによって計算できる．初期クラスタリングは反復改善法の収束速度に大きな影響を与えるので，良質の初期クラスタリングを効率的に計算できる初期化法が望まれている．本章は領域融合法を利用した初期化法を提案し，初期化法として多く利用されているランダムサンプリング・最遠点サンプリングよりも効率的な初期化法であることを実験により示した．また，この方法は位相を保存するクラスタリングの計算を行うことができるという利点も持っている．

第4章では，メモリに収まらないほどの大規模なメッシュに対しての最適クラスタリングの計算法を提案している．近年では3次元形状測定装置の発展により非常に詳細なメッシュが得られるようになっており，メモリに収まらないほどの大規模なメッシュも存在する．既存の最適クラスタリングの計算法は，メッシュが全てメモリに収まることを仮定しており，そのようなメッシュを処理することができない．大規模メッシュを処理するには，データの一部のみをメモリに載せて処理を進めるOut-of-Core法を利用する必要がある．本章では，最適クラスタリングを計算するOut-of-Core法を提案した．これはOut-of-Core初期法とOut-of-Core反復改善法により構成される．初期化法としては，Out-of-Core領域融合法を提案した．これは，ストリーム処理を利用したOut-of-Core辺縮約簡略化法をもとに設計した．反復改善法としては，Out-of-Coreデータ交換法を提案した．データ交換法とは最適クラスタリングの計算に利用される反復改善法で，データ交換を繰り返し適用する方法である．データ交換は局所的な情報のみを必要とするという特徴を持つ．このデータ交換法をストリーム処理に適応させることにより，Out-of-Coreデータ交換法を設計した．提案法により，大規模メッシュに対しても最適クラスタリングが計算できるようになった．形状近似のための最適クラスタリングは大規模メッシュに対して行われることが多いので，これは大きな意義のあることである．

第5章と第6章では，位相保存についての研究を述べている（ここでは，多様体的な三角形メッシュ上での

頂点クラスタリングのみを扱う）．より具体的には，Lloyd 法における位相保存の問題を扱っている．Lloyd 法とは，最適クラスタリングの計算に最も多く用いられている反復改善法である．クラスタリングは，各クラスタが 2-cell（円板）と同相で，任意の二つのクラスタの共通部分が空集合・一つの辺・一つの頂点のいずれかである場合，位相を保存すると言われる．三角形メッシュの頂点クラスタリングが位相を保存していれば，そのクラスタリングの双対分割はもとのメッシュと同相な三角形メッシュになる．メッシュ簡略化などの応用においては位相保存は非常に重要な問題であるが，Lloyd 法における位相保存の問題については今までほとんど研究されてこなかった．第 5 章では，球面と同相なメッシュに対してはクラスタ数が 4 以上であれば常に位相を保存するクラスタリングを計算できることを，また球面以外の曲面と同相なメッシュに対してはクラスタ数が大きくても位相を保存できないことがあることを明らかにした．境界を持つ球面と同相なメッシュに対しても同様の解析を行った．これらの解析を行うために，制限付き辺縮約という概念を定義した．本章では，位相を保存する最適クラスタリングを計算できるように，Lloyd 法の修正も行った．それから第 6 章では，球面以外の曲面と同相なメッシュに対して，どのような場合に位相を保存するクラスタリングが存在するかという問題を考え，十分条件を導出することに成功した．この条件の導出には，三角形メッシュ上での離散ボロノイ図を利用した．

このように本論文では，表面メッシュ上での最適クラスタリングのための効率的な初期化法・Out-of-Core 計算法・位相を保存する計算法を提案した．これらが主要な成果である．最後の第 7 章で，以上の成果をまとめ今後の課題について述べている．