

## 審査の結果の要旨

氏名 グンプナ エルカン

近年 3 次元スキャニング装置の発達により、それらを用いて取得した物体の 3 次元形状データが、それを機械設計やコンピュータグラフィックスにおいて活用されている。このような装置からの出力されるデータは一般に 3 次元点群であったり、あるいはそれから生成された三角形メッシュであることが多いが、機械設計ではそれらから B スプライン曲面などの 3 次元パラメトリック曲面を生成して 3 次元 CAD システムで利用可能な形にすることが必要である。この処理を一般にリバースエンジニアリングと呼ぶ。物体の形状は、複数のパラメトリック曲面を貼り合わせて表現されるため、リバースエンジニアリングでは、三角形メッシュを領域分割する必要がある。この領域は、その後処理においてパラメトリック曲面を当てはめるために、できるだけ矩形の領域であることと、内部に曲率の大きな部分を含まないことが望まれる。従来手法では、このような領域分割を自動で行うことが困難で、人手による分割が必要であった。

本研究ではこのようなリバースエンジニアリングに適した領域分割アルゴリズムを提案している。基本的なアプローチとしては、従来の手法が三角形メッシュを対象としていたのに対して、本研究では四角形メッシュを対象とする点である。近年、三角形メッシュから四角形メッシュを生成する「四角形化」と呼ばれる手法の研究が進んでおり、四角形が主曲率線に沿って並んだような四角形メッシュを生成することができるようになってきた。このようなメッシュのなかでも本研究では、Bommes 等の提案する **Mixed-Integer Quadratic Programming (MIQP)** を用いている。このメッシュは準正則という性質をもつ。すなわち、頂点の接続する辺の数が、ほとんどの頂点で 4 であり、一部の頂点のみで 4 以外であるという性質をもつ。後者を非正則頂点と呼ぶが、非正則頂点の間の辺を結ぶことによって、容易に四角形メッシュを矩形の領域に分割することができる。その一つのアプローチが Eppstein の **Motorcycle** 法と呼ばれるものである。このとき矩形の領域には四角形が格子上に並んでいるために、後処理において曲面を当てはめるときのパラメタ化が容易に行えるという、リバースエンジニアリングにおいて非常に有利な性質をもつ。

しかし、単純な **Motorcycle** 法では、曲率の高い部分（特徴領域）を矩形領域内にもつなど、必ずしも最適なものとは言えない。本研究では、この問題を解決する三つのアプローチを提案している。まず第 1 章では、以上のような技術的背景と、四角形メッシュを領域分割に利用する動機づけについて説明し、問題設定を行っている。また第 2 章では、関連研究について紹介し、特に関連の深いものについては、それらの問題点について述べている。

第 3 章では、**Motorcycle** 法によって生成された矩形領域の内部に特徴領域として特徴線が存在する場合に、それを含むように領域の境界を変形する方法を提案している。境界が変形することによって矩形から外れてしまうが、ここでは **bi-monotone** という考え方で、できるだけ曲面当てはめにおいて問題が生じないような領域になるようにしている。**bi-monotone** とは、矩形領域のいわゆるパラメタ方向 ( $u, v$  方向) のそれぞれに対して、領域が一つの連結な部分からなるようなものである。こうすることによって、当てはめにおいて  $u, v$  方向ともに均一なパラメタ間隔（大きなギャップがない）を実現することができる。

第 4 章では、別のアプローチとして **Motorcycle** 法を拡張する二つの方法を提案している。**Motorcycle** 法で生成される構造は、**structured partition** と呼ばれる、すべての領域が矩形の分割となる。このような分割は多数存在するが、単純に **Motorcycle** 法を適用した場合は、その一つしか得られない。そこで 4.3 章では **Motorcycle** 法で生成された分割において、辺が交差する部分において、交差の関係を交換（フリップ）することによって、新しい分割を得る方法を提案している。分割に対してその品質を表す評価関数を定め、それを小さくするようにフリップを適用する手法を提案している。しかし、この方法は深さ優先的で、局所最適な解に陥りやすいことが分かった。そこで、第 4.3 節では、すべての可能な分割を列挙するアルゴリズムを提案した。しかし、分割数は指数的に増えるために、メッシュ全体に適用することは現実的に困難であるために、メッシュを非正則点の分布に応じて分割し、それぞれにおいて分割を列挙した後にそれらを統合するという効率的なアルゴリズムを提案している。

以上の三つの方法について、コンピュータプログラムを作成し、実際的な例も含む様々な例題に適用して、その評価を行っている。その結果、入力 of 四角形メッシュの品質に依存しながらも提案手法は効果的に領域分割を行えることを示している。

以上をまとめると、本研究はリバースエンジニアリングのための準正則な四角形メッシュの領域分割という問題に対して、**Motorcycle** 法を拡張した新しい手法を提案しており、分割結果や処理効率の点からして工業的にも有用な成果を得たと言える。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。