

学位論文題名

設計・生産のための多重解像度

メッシュモデルに関する研究

学位論文内容の要旨

現状の製品開発においては、開発中枢段階の詳細・機能設計プロセスにおいて、パラメトリック曲面を含むソリッドモデルが中心となって用いられており、製品開発の上流段階の意匠設計プロセス、並びに、下流段階の工学解析や製造プロセスにおいては、その処理効率の良さから、三角形メッシュモデルなどの製品形状の離散近似モデルが多く用いられている。このような現状において、形状モデルデータのデータ交換、及び、データ変換において次の問題点が指摘されている：1) 異なるシステムにおいて同一の製品形状を取り扱うための製品形状のソリッドモデルのデータ交換は、形状品質の劣化を招く事が多く、最悪の場合には、形状情報を全く交換できない場合がある、2) 解析、製造のための製品形状のソリッドモデルからの離散近似モデルへのデータ変換は、処理が高価となり、更に、アプリケーションで要求される機能を持ち処理効率の良い離散近似モデルを生成するためには、利用者の経験や知識を必要とする。また、意匠設計から詳細・機能設計のための逆変換処理は未だ技術的に困難な課題となっている。これらの問題点は、製品形状の形状モデルの表現やデータ構造の複雑さと、異なるプロセスにおける異なる種類の形状モデルの利用に起因していると言える。

そこで本研究では、主に意匠性の高い製品の開発効率向上を目的とし、上述の問題を解決可能な三角形メッシュモデルを統一的に用いた設計・生産プロセスを提案し、これを実現するための基本機能開発を行った。三角形メッシュモデルは、三角形面分の集合で形状を表現するものであり、データ構造が極めて単純である。そのため、三角形メッシュモデルでは、データ交換における形状品質の劣化がほとんど起こらず、先に述べたデータ交換の問題が解決される。また、解析、製造のための製品形状のソリッドモデルからの三角形メッシュモデルへのデータ変換は、製品形状の三角形メッシュモデルの解像度変化を伴うデータ処理問題に帰着することができる。現状の三角形メッシュモデルの処理技術を調査することにより、三角形メッシュモデルを統一的に用いた設計・生産プロセスを実現するためには、次に述べる3つの要求事項があることがわかった：1) 三角形メッシュモデルを用いた高度な形状モデリング手法の確立、2) アプリケーション利用における適切な解像度、機能を持つメッシュモデルの生成手法の確立、3) 貴重な製品形状の三角形メッシュモデルのデータ認証・保護手法の確立。本研究では、まず、従来コンピュータグラフィックスの分野で研究が多くなされてきた三角形メッシュモデルの多重解像度表現と、これより得られる解像度制御可能な多重解像度メッシュを定式化し、その枠組みにおいて上述の要求事項を満足可能なことを示した。

三角形メッシュモデルを用いた形状モデリングにおける課題の一つは、工業製品の形状表面に多く見られる微小な文字や模様などの表面詳細を含む設計対象のモデリング手法の確立である。そこで、本研究では、設計データの再利用性向上と設計バリエーション向上を目的として、既存の表面詳細合形状のメッシュモデルから表面詳細のみを抽出する手法を開発した。本研究では、メッシュモデルのローパスフィルタリングにより失われる高周波成分を形状の表面詳細の幾何とみなし、表面詳細の定義域としてパラメタライゼーションを用いることによって、表面詳細のみを表面詳細合形状のメッシュモデルから独立したメッシュモデルとして抽出できることを確認した。次に、表面詳細のメッシュモデルと、表面詳細が合成される基本形状のメッシュモデルとの合成を用いた、三角形メッシュモデルの高解像度化に基づく表面詳細合形状の効率的設計手法を開発した。本研究では、3次元空間における位相合成や幾何合成、形状間の対応付け等の複雑なメッシュ合成の問題を解決するために、設計の観点から要求される性質を満たすパラメタライゼーション法を新たに提案し、これを用いて、メッシュ合成の問題を2次元の問題に帰着して解決可能なことを示した。また、提案したメッシュ高解像度化に基づく表面詳細合形状設計法を拡張し、製品形状設計に必要不可欠な、幅、及び、径指定型のフィレット生成をメッシュモデル上で実現した。これらの成果により、三角形メッシュモデルのデータ再利用性、形状設計効率、設計バリエーションの向上が可能となり、三角形メッシュモデルを用いた高度な製品形状モデリングが可能となった。

製品形状の工学解析、製造における様々なアプリケーションにおいては、その処理効率化のために、利用目的に適した解像度・機能を持つメッシュモデルが要求される。そこで、本研究では、有限要素解析、干渉判定処理、自由曲面加工を対象とし、製品形状の三角形メッシュモデルから、各アプリケーションで要求される要求機能を満足可能な多重解像度メッシュの生成法を提案した。提案手法により、製品形状の三角形メッシュモデルから、解析効率向上のための詳細フィーチャ除去、干渉の過小評価回避、過切削がなく効率の良い切削を実現可能な低解像度メッシュを生成できる、多重解像度表現が生成可能となった。以上により、製品形状の三角形メッシュモデルからのアプリケーションに適した機能を持つメッシュモデル生成が容易に可能となり、更に、各アプリケーションのデータ処理効率向上が可能となった。

三角形メッシュモデルデータは、その複製や編集が容易であるため、設計された貴重な三角形メッシュモデルデータの認証・保護技術が要求される。そこで、本研究では、ウェーブレット変換を用いた多重解像度表現に基づく三角形メッシュモデルに対する電子透かし手法を新たに提案した。提案手法は、ウェーブレット変換により得られる変換係数を微小に変化させることによって、メッシュモデルに対し著作権やコンテンツ情報などを透かしとして埋め込むものである。提案する電子透かし手法は、透かし埋め込みにより生じる形状誤差の制御が可能、埋め込まれた透かしはアフィン変換に対する保存性、メッシュモデルに対するノイズ重畳や部分メッシュの切り取りなどの攻撃に対し透かしが耐性を持つといった特徴を持ち、三角形メッシュモデルのデータ認証・保護に有効であることが確認された。

以上より、三角形メッシュモデルを統一的に用いた設計・生産プロセスを実現するための、多重解像度メッシュモデルに基づいた、高度な製品形状モデリング法、アプリケーション用モデル生成法、設計データの保護・認証方法の有効性が確認できた。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 岸 浪 建 史
副 査 教 授 島 公 脩
副 査 教 授 土 谷 武 士
副 査 助 教 授 金 井 理

学 位 論 文 題 名

設計・生産のための多重解像度

メッシュモデルに関する研究

現状の製品開発においては、開発中枢段階の詳細・機能設計プロセスにおいて、パラメトリック曲面を含むソリッドモデルが中心となって用いられているが、製品開発の上流段階の意匠設計プロセス、並びに、下流段階の工学解析や製造プロセスにおいては、その処理効率の良さから、三角形メッシュモデルなどの製品形状の離散近似モデルが多く用いられている。このような現状において、形状モデルのデータ変換において次の問題点が指摘されており、円滑な製品開発の妨げとなっている。1) 異なるシステムにおいて同一の製品形状を取り扱うための製品形状モデルのデータ交換は、形状品質の劣化を招き事が多く、形状情報のデータ交換を全く交換できない場合のある、2) 解析、製造のための製品形状のデータ変換は、処理が高価となり、更に、アプリケーションで要求される機能を満足する形状モデルを生成するためには、利用者の経験や知識を必要とする。これらの問題点は、設計、生産の各部門において異なる種類の形状モデルの利用に起因していると言える。

そこで本研究では、主に意匠性の高い製品の開発効率向上を目的とし、上述の問題を解決可能な三角形メッシュモデルを統一的に用いた設計・生産プロセスを提案し、これを実現するための基本機能開発を行なっている。三角形メッシュモデルは、三角形面分の集合で形状を表現するものであり、データ構造が極めて単純である。そのため、三角形メッシュモデルでは、データ交換における形状品質の劣化が起こらず、データ交換の問題が解決される。また、解析、製造のための製品形状のソリッドモデルからの三角形メッシュモデルへのデータ変換は、製品形状の三角形メッシュモデルの解像度変化を伴うデータ処理問題に帰着することができる事を指摘している。三角形メッシュモデルを統一的に用いた設計・生産プロセスを実現するために、次に述べる3つの要求事項を明らかにしている。1) 三角形メッシュモデルを用いた高度な形状モデリング手法の確立、2) アプリケーション利用における適切な解像度、機能を持つメッシュモデルの生成手法の確立、3) 貴重な製品形状の三角形メッシュモデルのデータ認証・保護手法の確立であ

る。本研究では、まず、従来コンピュータグラフィックスの分野で研究が多くなされてきた三角形メッシュモデルの多重解像度表現と、これより得られる解像度制御可能な多重解像度メッシュを定式化し、その枠組みにおいて上述の要求事項を満足可能なことを示している。

三角形メッシュモデルを用いた形状モデリングにおける課題の一つは、工業製品の形状表面に多く見られる微小な文字や模様などの表面詳細を含む設計対象のモデリング手法の確立である。本研究では、まず、メッシュモデルのフィルタリングにより得られる高周波成分を表面詳細の幾何とみなし、その定義域としてパラメタライゼーションを用いることによって、表面詳細のみを独立したメッシュモデルとして抽出する手法を開発している。次に、パラメタライゼーションに基づく表面詳細のメッシュモデルと、表面詳細が合成される基本形状のメッシュモデルとの合成を用いた、三角形メッシュモデルの高解像度化に基づく表面詳細合形状の効率的モデリング手法を開発し、更に、これを拡張し、製品形状設計に必要不可欠な、幅、及び、径指定型のフィレット生成をメッシュモデル上で実現している。これらの成果により、三角形メッシュモデルのデータ再利用性、形状設計効率、設計バリエーションの向上が可能となり、三角形メッシュモデルを用いた高度な製品形状モデリングが可能であることを明らかにしている。

製品形状の工学解析、製造における様々なアプリケーションにおいては、その処理効率化のために、利用目的に適した解像度・機能を持つメッシュモデルが要求される。そこで、本研究では、有限要素解析、干渉判定処理、自由曲面加工を対象とし、製品形状の三角形メッシュモデルから、各アプリケーションで要求される要求機能を満足可能な多重解像度メッシュの生成法を提案している。提案手法は、製品形状の三角形メッシュモデルから、有限要素解析効率向上のための詳細フィーチャ除去、干渉の過小評価回避、過切削がなく効率の良い切削を実現可能な低解像度メッシュをそれぞれ自動生成し、製品形状の三角形メッシュモデルからのアプリケーションに適した機能を持つメッシュモデル生成を可能とし、更に、各アプリケーションにおけるデータ処理効率向上を確認している。

三角形メッシュモデルデータは、その複製や編集が容易であるため、設計された貴重な三角形メッシュモデルデータの認証・保護技術が要求される。そこで、本研究では、ウェーブレット変換を用いた多重解像度表現に基づく三角形メッシュモデルに対する電子透かし手法を新たに提案している。提案手法は、ウェーブレット変換により得られる変換係数を微小に変化させることによって、メッシュモデルに対し著作権やコンテンツ情報などを透かしとして埋め込むものであり、透かし埋め込みにより生じる形状誤差の制御が可能、埋め込まれた透かしがアフィン変換に対する保存性、ノイズ重畳や部分メッシュの切り取りなどの攻撃に対し透かしが耐性を持つといった利点を確認され、三角形メッシュモデルのデータ認証・保護に有効であることを確認している。

以上より、三角形メッシュモデルを統一的に用いた設計・生産プロセスを実現するための、多重解像度メッシュモデルに基づいた、独自の高度な製品形状モデリング法、アプリケーション用モデル生成法、設計データの保護・認証法を提案している。

これを要するに、著者は、形状処理工学についての基礎理論に対する新知見を得たものであり、システム情報工学および生産情報工学に貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。