

## 多面体モデル最適化による立体形状決定法の研究

### 学位論文内容の要旨

物体の立体形状を計算機内部に表現することは、物体認識と密接に関係するばかりでなく、それ自体が設計製造分野において重要な課題である。多くの工業部品の立体形状は、柱体や球などの基本的な立体を基にした集合演算により再現できるが、自由曲面を有する部品や自然界に存在する多くの物体の形状を再現するためには、物体表面の位置を測定し、それを適当なデータ構造で表現する必要がある。

ステレオ画像法などに代表される、従来の光学的手段による受動的な形状計測方法による立体形状計測方法では、(1) 曲面形状の計測、(2) 拡散反射面と仮定することができない表面を持つ物体の計測、(3) 対象物体全体の形状決定、が困難であるなどの問題点が挙げられる。また、それにより決定される物体形状データは、物体上の非常に多数の点の3次元座標によって表現されるため、データ量が膨大になり、他の処理での利用を難しくしている。一方、物体の2次元投影像(物体像)の輪郭線は写真画像およびTVカメラ画像から容易に抽出でき、物体表面の性質に影響されにくいという特徴を持っていることを利用し、対象物体の多方向のシルエット像あるいはその輪郭線から、volume intersectionの原理によって物体の形状を決定する方法が提案されている。しかし、この方法では対象物体が認識されることを前提としており、形状計測の意味での形状決定には不十分である場合が多い。

本研究では、従来の受動的形状計測法の問題点の解決策の一つとして、輪郭線に基づく多面体モデル最適化形状決定法を開発した。この方法では、対象とする物体の表面形状として、はじめに最も簡単な凸閉曲面を、最終的に任意の単一閉曲面までの形状計測を目的とし、多方向の物体像から物体の表面形状を最適に近似する多面体モデルを計算機処理によって決定する。

はじめに、物体空間における対象物体と計算機内に与えた多面体モデルの形状の不一致度を、各投影面上における物体像と多面体モデル像の形状の不一致度を基に定義した評価関数によって評価する方法を考案し、この評価関数を最小化する意味で最適な多面体モデルを決定することにより、対象物体の形状を近似決定できることを示した。また、多面体モデル最適化の手続きとして、任意に与えた簡単な多面体モデルの初期値を出発点とし、

評価関数の値が減少するように多面体モデルを逐次変形（各頂点の移動および頂点の増加）する方法が有効であることを明らかにした。

具体的にはまず、最も簡単な対象物体として凸閉曲面を想定し、これを凸多面体モデルを用いて形状決定する方法を提案し、その具体的な形状決定アルゴリズムを作成した。このアルゴリズムでは、任意に与えた四面体を出発点とし、逐次頂点を一定の手続きで決定される位置に追加していった後、各頂点の位置を最適化するものであり、本論文では逐次頂点増加型と呼ぶ。このアルゴリズムを適用して直方体および回転楕円体の形状決定を行う計算機シミュレーションを行い、50 方向の物体像を用いた形状決定結果について検討した。この結果から、多面体形状は頂点数の少ない多面体モデルによって、曲面を含む物体の形状は多数の頂点を有する多面体モデルにより効果的に形状決定できることを明らかにした。また、形状決定のために用いる物体像の数、投影方向の組合せが形状決定結果に対して与える影響を検討した。さらに、物体を 17 方向から撮影した写真画像を用いて適用実験を行い、アルゴリズムの有効性を確認した。

次に、上記で提案した凸閉曲面の形状決定法をより複雑な物体の形状決定に適用できるようにすることを目的として、形状決定法の拡張を行い、具体的な形状決定アルゴリズムを作成した。そして、計算機シミュレーションと写真画像および CCD 画像を用いた適用実験を行い、アルゴリズムの有効性を確認した。この拡張により、空間的な 1 本の閉曲線を境界線として凸閉曲面を切り取った部分曲面形状（凸殻）の形状決定が可能になり、複数の凸殻が合わさった形の複合物体の形状決定が可能であることが明らかになった。

上記で提案した凸閉曲面の形状決定アルゴリズムの欠点を補い、さらに対象物体の範囲を広範にするため、凸物体に対しても、非凸物体に対しても適用できる形状決定法を提案し、具体的なアルゴリズムを作成した。この方法では、任意形状の物体を表すために、多面体モデルも任意形状の多面体を表現できるように、そのデータ構造を変更した。また、上記の逐次頂点増加型形状決定アルゴリズムは対象が凸閉曲面であることを積極的に活用しているため、そのまま応用することができないので、新たに、各頂点位置修正処理と頂点増加処理を交互に繰り返すアルゴリズムとした。このアルゴリズムを適用した計算機シミュレーションにより、凸物体、非凸物体ともに形状決定できること、物体全体を一様な大きさの三角形によって埋め尽くした形の最適多面体モデルで形状決定できることを確認した。また、物体を 16 方向から撮影した写真画像を用いた適用実験を行い、アルゴリズムの有効性を確認した。

# 学位論文審査の要旨

主査 教授 大場 良次  
副査 教授 大塚 喜弘  
副査 教授 伊達 惇

学位論文題名

## 多面体モデル最適化による立体形状決定法の研究

物体認識や計算機援用設計(CAD)に見られるように、3次元物体の形状データを計算機内部に取り込み加工・処理・認識する技術の重要性が増している。そのような技術に関連する問題の一つに、3次元自由曲面を有する物体を計測してそれを計算機の内部で表現する3次元物体形状決定の問題がある。従来手法には、計測用探針を対象に接触させる接触法と、3角測量のように、光学的に非接触で行う非接触法がある。前者には測定時間が長い、測定対象が制限される、データ構造が硬直的などの問題があり、後者には対応点の認識と検出などの問題がある。本論文はこれら従来法における問題点の解決を図るために行った研究について述べたものであり、6章からなっている。すなわち著者は単純な凸閉曲面から最終的には任意の単一閉曲面までの形状計測を目的として、多方向より観測した物体像から対象の表面形状を最適に近似決定する新しい方法の原理を考案し、最適化に用いる評価関数として、投影面上の物体の像とモデルの投影像の形状の差異を基に、物体空間における対象物体と計算機内に構築する多面体モデルの形状の不一致度を用いることを提案し、それを最小化する意味で最適化を行う実用的アルゴリズムを新たに開発している。

第1章は序論で、従来法の問題点、研究の背景、目的、及び論文の構成について述べている。第2章では、まず形状決定に係る3つの座標系の定義を与えると同時に、座標間の基本変換式及びカメラモデルを定義している。次に、物体投影像の輪郭線に基づく評価関数を用いて対象の多面体モデルを最適化することにより、物体形状を決定するという、新しい形状決定法の原理と形状決定アルゴリズムの基本的構成を提案している。すなわち、3次元自由曲面を有する物体形状を非接触で決定する新しい方法として、対象投影像の輪郭線に基づく多面体モデル最適化形状決定法の原理及びアルゴリズムを提案している。

第3章及び第4章では、第2章で提案した原理とアルゴリズムに基づき、それぞれ単一凸閉曲面及び単一凸殻に適用可能な頂点逐次増加型多面体モデル最適化法と、そ

れに基づく実用形状決定アルゴリズムを開発し、計算機シミュレーション及び実物体を用いた実験により、その有効性を実証している。

第5章では、非凸物体自由曲面にも適用可能な適応的多面体モデル最適化法を提案してその計算機表現を容易にする新たなデータ構造を提案し、頂点位置修正と頂点増加処理を交互に実行することによる実用形状決定アルゴリズムを開発し、計算機シミュレーション及び実物体を用いた実験により、その有効性を実証している。

第6章は総括であり本論文の成果を総括するとともに、今後の研究課題について展望している。

以上のように、本論文は自由曲面を有する3次元形状決定法に関して新たな手法を与え、計測工学および写真測量学上の新しい知見を含むものであり、計測工学に寄与するところが大きい。

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られる。