

審査の結果の要旨

氏名 シャンマー ハイサム

シャンマー ハイサム提出の本論文は **Digital Shape Reconstruction of Physical Objects Using CT Images and Applications** (CT 画像を用いた現物の形状復元に関する研究)」と題し、全 6 章よりなり、機械部品等の実物を CT 装置で計測し、その画像から形状データを再構成する問題を扱っている。

第 1 章では、研究の背景を説明し、研究の目的について述べている。産業用 X 線 CT の計測精度の向上に伴い、従来の非破壊での検査目的利用から、形状計測に利用されるようになってきた。その中で、CT データから CAD 等での利用価値の高い表面形状データを三角形メッシュなどの形に変換する処理が利用されている。

しかし、対象物が組み立て品でそれを組み立てた状態でスキャンした場合には、各部品毎の形状を抽出することが困難であった。一つの理由は、従来手法が CT 値の閾値を利用するために、一つの処理当たり一つの材質しか扱えないことである。もう一つは、同じ材質でできた部品が組み立てられている場合に、CT 画像ではそれらの境界が撮像されず一体の部品として扱われることである。このような問題は、一般にはセグメンテーションの問題として分類されるもので、そのセグメンテーションとさらにはセグメンテーションの結果から表面形状を抽出することを研究の目標と設定した。

第 2 章では、上記の問題設定に対して、さらに詳しく述べるとともに、関連する先行研究について紹介している。また本研究でターゲットとする CT 画像の性質についても説明している。セグメンテーションの既存手法としては、閾値処理、領域拡張法、Watershed 法、Graph-Cut 法があり、それらの得失について論じている。さらに、CT データから表面メッシュを生成する方法について、二つの材質の CT 値の中間の値を閾値として、Marching Cubes 法に代表される等値面生成手法によって三角形メッシュを生成する方法を紹介した。また本研究では境界が非多様体となるため、Dual Contouring 法についても紹介している。

第 3 章では、複数の材質からなる部品が組み合わされたものの CT 画像において、材質ごとにセグメンテーションする問題を扱う。この問題は次の第 4 章でも別の方法によって扱われるが、本章では Graph-Cut 法をベースにした大域的

な最適化によって問題を解く。多媒質の場合に大域的なアプローチの必要性について述べた後に、CT 画像に Graph-Cut 法を適用するための方法を提案している。これらは先行研究に準じてはいるものの、画素数の大きい CT 画像に適用するための効率化や、多媒質を扱うために繰り返し Graph-Cut を適用する方法について新規性が認められる。さらに、得られたセグメンテーションから Dual Contouring によって表面メッシュを生成する際に生じるアーチファクトを緩和する手法を提案した。この手法を実際の機械部品のデータに適用して良好な結果を得ている。

しかし、この手法では、CT 値の大きく異なる材質からなる多媒質部品において局所的な特徴が失われることがあるという問題点があった。これは Graph-Cut のもつ大域性の副作用として現れる。そこで第 4 章では、Active Contour 法にヒントを得て、領域を拡張する方法を提案している。これを Creeping Contour と名付けた。まず領域を拡張する基本方程式を示し、さらにそれを離散領域（画像）で近似的に効率よく計算を行う方法を提案している。これが従来の手法とはもっとも異なる点である。また複数の材質に対して並列的に処理を進めることができるために、計算量も小さい方法となっている。これを適用することによって、前章の手法に比して優れた結果を得ている。

第 5 章では、単一材質の場合の部品のセグメンテーション問題について扱っている。同じ材質の部品が組み立てられている場合には、それらの境界は CT 画像上では撮像されないために、CT 画像だけでセグメンテーションを行うことは原理的に不可能である。そこで、外部情報としてその部品の CAD データを用いている。CAD データを CT 画像に位置合わせし、さらにそれをラスタライゼーションすることによって独立部品の領域を求めセグメンテーションを行っている。CT 画像と CAD データから位置合わせのための特徴点を抽出する方法について提案し、実際のアルミでできた組み立て品に適用した結果を示した。

第 6 章では結論として、本論文では組み立て部品の CT 画像に対して、複数材質の場合と単一材質の場合において、組み立て品を構成する部品をセグメンテーションする法を提案し、また、それぞれについて実際にプログラムを作成し、実部品形状のデータに適用することによって、その適用可能性を示し、手法の評価を行ったことが述べられている。また将来課題についても示してある。

以上を要約するに、本研究により、従来の手法では困難であった、産業用 X 線 CT によって組み立て品を分解せずにスキャンし、そこから各部品毎の形状情報

を取得する新しい手法が提案されたと言え、本分野に関して大きな貢献をした
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。