

審査の結果の要旨

氏 名 呂 敏

形状解析は、コンピュータビジョン分野において重要な課題のひとつである。特に、考古学研究の対象となる遺跡などの分析においては、同じカテゴリ内にある形状を解析し比較できることは、考古学研究への貢献の観点からも必要性が高い。従来、このような同一クラス内の形状解析手法は、顔の表情などいくつかの特別なケースにおいて、それに特化した形状モデルを用いる手法が数多く提案されている。しかし、一般性を保持したまま形状解析を行う、数理的な枠組みに基礎をおく手法の提案はいまだに数が少ない。本学位論文の技術的な貢献は、低ランク行列復元概念を導入して、欠損部分の形状復元、類似性に基づく形状のクラスタ解析、さらには形状間の定量的な類似度に基づく比較手法の3つの手法の提案を行い、同一クラス内の形状解析を一般的に行なう数理的な手法の整備を行なった点にある。さらに、遺跡内の遺物の形状解析を通して、提案手法の有効性についても評価を行なっている点が特筆に値する。

本論文は6章で構成され、各章の内容は以下のようにまとめることができる。

第1章は、複数クラス間と同一クラス内形状解析問題の違いについて事例を上げて説明を加えたのち、本研究の動機付け、技術的な貢献と、本論文全体の構成について記している。特に、低ランク行列復元の考え方を利用して、形状復元、形状クラスタ解析、形状比較の3つの手法の提案が含まれることが述べられている。

第2章は、本論文で定式化される3つの手法の共通基盤として用いられる、低ランク行列復元概念が紹介されている。特に、制約付き最適化問題のコストに含まれるL0ノルムを、L1ノルムに置き換えて近似することで、拡張ラグランジュ法を用いた低ランク行列復元が可能となることが示されている。

本論文の主たる貢献は、第3、4、5章の3つの章において展開される。

第3章では、同一クラス内の複数の3次元曲面のデータから、形状に欠損のある曲面の復元を行う手法について述べられている。まず、最小二乗誤差の最適化を行うことで3次元曲面データ同士の位置合わせを行い、さらに低ランク行列復元の定式化を導入することで、形状計測誤差を最小化する形状復元を実現している。特筆すべきは、欠損データの影響が、低ランク行列復元の際に最適化するコストに影響を与えないよう、マスクの役割を果たす射影作用素を新たに導入して、低ランク行列復元の枠組みを欠損デー

タの復元に効果的に適用する枠組みを提案している点にある。本章では、バイヨン遺跡における人面像形状の欠損データの復元に本手法を適用することで、その有効性を示している。

第4章では、同一クラス内の形状解析において、まず、各々の形状に対応するベクトル表現同士のユークリッド距離を用いることで、形状間の類似度を定義する。その後、類似度の近いもの同士をクラスタ化し、系統樹で表現される形状の階層表現を導入することで、ある一定数の形状クラスタを得る。本章では、具体的な応用として、この形状のカテゴリ分けを利用し、バイヨンの人面像の形状欠損復元の精度をより高める手法が示されている。具体的には、形状復元の際に参照する形状をより類似度の高いものに限定することで、復元精度の向上を図っている。さらに、バイヨンの遺跡における人面像形状のクラスタ解析を実施することで、遺跡における人面像の配置の考古学的な知見を提供することに成功している。

第5章では、形状比較における類似度の定量的な評価を、テンソルに基づく形状表現を用いることで実現を図っている。ここでは事例として、2次元画像上に定義される輪郭線形状を用いている。最初に、2次元形状同士の対応関係を非剛体変形を用いて行ったのち、その変形に伴う移動量を表現するベクトルを各画素上で定義する。その後、行列同士の類似度行列を、上記の各画素における移動量を含めたテンソル表現に拡張する。最後に、そのテンソルにタッカー分割を適用することで、類似度を表す低次元の行列表現を得て、形状間の定量的な比較を実現している。本章では、蝶の羽根の輪郭線に提案形状比較手法を適用することで、生態学的な知見に合致した定量的な形状比較が実現できることが示されている。

最後に第6章で、各提案手法に対する総括を行ったのち、今後の課題について言及している。

以上のように、本論文は同一クラス内形状解析における、形状復元、クラスタ分類、形状比較の3つの新しい手法を提案しており、その定式化にも低ランク行列復元など数理的な基礎を有する技法が効果的に用いられている。審査委員会は、本論文で提案されている形状解析手法の独創性や数理的な定式化、考古学分野への適用を含めた有効性を評価し、博士号に十分値するものと判断した。

よって、本論文は博士(情報理工学)の学位請求論文として合格と認められる。