

## 審査の結果の要旨

氏 名 加藤 大晴

本論文は「Learning 3D mesh reconstruction from 2D images (2D画像からの3Dメッシュの再構成の学習)」と題し、画像中の物体の3D再構成を行う推定器を画像データによって学習する方法を提案したものであり、全7章から構成される。

本論文で扱う単一画像3D再構成とは、ある物体の画像が一枚与えられたときにその物体の3D構造を推定する技術であり、ロボットの行動計画やARへの応用の可能性から期待を集めている。単一画像3D再構成は物体の裏側などの隠れた情報も含めた3D構造の推定を行う不良設定問題であり、解くのは容易ではないが、近年、3Dモデルを学習データとする深層推定モデルが提案され、飛躍的な発展を遂げている。一方で、この深層推定モデルは学習データとして通常3Dモデルを必要とし、一般的に3Dモデルの作成には専門的な能力と膨大な時間が必要とされるため、3Dモデルを教師情報として準備することなく、2D画像のみを用いて学習を行うことが望ましい。しかし、2D画像のみを用いて3D再構成を学習する場合、深層推定モデルの学習に適した3Dモデルを2D画像へと投影するモジュールを準備する必要がある。また、2D画像中の3D形状は一意に定まらないため、投影された2D画像が学習データの2D画像と一致することのみを基準とすると、他の視点から見ると不自然な3D形状が推定される。これらの問題に対し、本論文では、3Dモデルを2D画像へと変換する深層学習向けに誤差逆伝播が定義されたモジュール（微分可能レンダリング）と、自然な3Dモデルを推定するような学習方法を提案し、2D画像データセットのみから単一画像3D再構成を行う高性能な推定器の学習を可能にした。具体的には、微分可能レンダリング手法の開発に加え、多視点画像からの学習、カメラ情報と前景情報のアノテーションが付与された単視点画像からの学習、アノテーションの付与されない単視点画像からの学習を対象に研究に取り組んでいる。アノテーション付き画像からの学習については、推定された3D形状があらゆる視点から自然な形に見えるように、見え方の自然さをデータから自動的に獲得し、それを用いた再構成推定器の学習手法を提案している。アノテーションが付与されていない画像からの学習については、教師情報として用いることのできる情報の少なさを補うため、3D空間の物体の自然さに関するいくつかのヒューリスティクスを導入することを提案している。微分可能レンダリング手法と各3D再構成手法については検証実験を行ない、有効性を示している。各章の概要は以下の通りである。

導入部分は第1章と第2章で構成される。第1章「Introduction」では、まず、単一画像3D再構成の学習データと3D表現に関する議論を行った後、画像のみからの3D再構成推定器の学習の必要性和3D表現としてメッシュを用いることの必要性を指摘し、本研究の目的を述べている。また、学習データに関する三つの代表的なケースを取り上げ、その利点と技術的な困難を議論している。第2章「Related work」では、まず、微分可能レンダリング手法について取り上げ、続いて、単一画像3D再構成について必要とする学習データを切り口として議論を行い、本研究との関係を述べている。第3章「Differentiable rendering for neural networks」では、深層学習のための微分可能レンダリング手法を提案し、関連手法との比較実験を行なっている。第4章「Learning with multi-view images」では、多視点画像を用いた単一画像3D物体をメッシュとして再構成を行い、このタスクへのボクセルに対する優位性を示している。第5章「Learning with annotated single-view images」では、カメラ情報と前景情報が付与された単視点画像からの3D再構成推定器の学習を取り上げ、物体の自然な見え方をデータから学習し、それを最大化するような形状を推定する手法を、敵対的学習の枠組みを用いて提案している。第6章「Learning with unannotated single-view images」では、アノテーションの付与されない自然画像の集合を学習データとして、物体カテゴリごとのテンプレート形状の獲得と、それを用いた3D再構成推定器の学習手法を提案している。

第7章「Conclusion」においては、上述した提案手法について総括した上、得られた知見および今後の展望について議論を行なっている。

以上、本論文は、「メッシュを3D表現として用いた2D画像のみからの3D物体再構成推定器の学習」という新しい研究領域に対して、独自性の高い手法を提案しながら、網羅的に研究に取り組んでおり、学術的に価値の高い研究成果を達成していると言える。

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。