

## 審査の結果の要旨

氏 名 川名 雄樹

本論文は「Part-level Shape, Pose and Kinematics Understanding of Man-made Articulated Objects (関節物体に対するパーツレベルの形状・姿勢・動作に関する理解)」と題し、多様な関節構造と関節により可動するパーツから構成される関節物体の認識方法を提案したものであり、全8章から構成される。

本論文で扱う関節物体とは引き出し等の家具・家電等の人工的な物体を対象としている。このような関節物体は日常生活で重要な役割を果たしている。人間はそれらの関節物体について、両目から得られる深度と色情報の観測から、瞬時に形状・姿勢・関節構造を認識し、操作・動作の予測に役立てることができる。よって、その認識は機械が自律的に冷蔵庫・引き出しといった身の回りの関節物体について、開閉操作を正確・適切に行うことを可能にする上でも非常に重要な技術である。

時系列情報を含まない深度といった形状の部分観測のみからの全体形状・姿勢・関節構造の推定は本来不良設定問題である。さらに、そのような関節物体は異なる関節構造・パーツ姿勢により膨大な形状のパターンが存在し、対象形状の理解は容易ではない。よって、従来技術では教師あり学習による単純な構造を持つ関節物体に対象を限定した形状の認識、または形状の認識を伴わないパーツの検出・関節構造の推定に止まっていた。さらに、学習にはパーツレベルの高価な人手によるアノテーションを必要としていた。よって、統一的な方法による多様な構造を持つ関節物体に対する形状・パーツ姿勢・関節構造まで一貫した認識と、高価なパーツレベルの人手によるアノテーションに頼らない教師なし学習は困難であった。

本論文では RGBD 画像と前景マスクの入力から、関節物体をパーツの集合として理解することを通して多様な構造へ対応する教師あり手法・教師なし手法・さらに関節物体の操作において重要な取手形状など前述の手法で認識されるパーツより更に細かい形状(サブパーツ)の認識を少数教師データから学習する方法とそれに適した形状表現方法を提案している。多様な構造への対応では、教師あり手法として、対象の形状をパーツレベルの潜在空間に分解して学習し、パーツごとの姿勢・形状・関節パラメータを推定したのち、各関節物体として再統合することにより、姿勢・関節構造のみならず、統一的な方法で形状の多様な構造を持つ複数の関節物体の理解を同時に可能にしている。教師なし手法としては同じ関節構造・異なるパーツ姿勢をとる複数の関節物体の形状デ

ータのみから人手による教師情報なしでパーツレベルの理解を可能にする手法を提案している。次に、教師なし形状分解手法と少数の教師情報からパーツ形状より細かな取手等の把持操作に有用な形状を認識可能な手法について議論し、このための細かな形状の再構成精度と分割結果のセグメンテーション性能を両立させる形状表現方法について述べている。最後に、教師あり・なし手法によるパーツレベルの認識と、形状分解によるサブパーツ認識を統合し、半教師ありのパイプラインとして関節物体に関して統合的な認識を行うシステムの説明を行う。各章の概要は以下である。

第1章「Introduction」では、単視点からの形状再構成・関節物体の姿勢・関節構造推定・パーツレベルの形状分解について議論を行った後、従来技術の多様な関節構造を持つ物体の形状再構成の課題、教師あり学習に高コストなアノテーションを用いる従来技術の課題を述べ本研究の目的を導入している。第2章「Towards a Unified Framework for Part-Level Articulated Object」では、本論文の指針、スコープ、方法論の明確化のため、関節物体の分類と対象とする関節物体の定義、パーツレベルの関節物体理解のための方法論、最終的なシステムの概要、最後に本論文の貢献を述べている。第3章「Related Work」では、関節物体の形状再構成について自然関節物体のアプローチについて述べ、今回対象とする人工関節物体に適応する際の限界を述べている。次に人工関節物体の形状理解に関する研究を俯瞰し、従来技術の問題を議論している。続いて姿勢・関節構造推定について関連研究を取り上げ、最後に教師なし形状分解手法と本研究との関係を述べている。第4章「Handling Various Structured Articulated Objects」では多様な関節構造を持つ関節物体に対して、教師あり手法によりパーツレベルの形状・姿勢・関節構造について統一された方法で推定する手法を述べている。第5章「Exploiting consistent part structure for unsupervised learning」では同じ関節構造・異なるパーツ姿勢をとる複数の関節物体の形状データのみから人手による教師情報なしでパーツレベルの理解を可能にする教師なし手法について述べている。第6章「Unsupervised Decomposition of Shape into Finer Semantic Parts」では教師なし形状分解手法について形状再構成性能と意味性を両立するための形状表現方法について提案している。第7章「Unified pipeline for comprehensive understanding of man-made articulated objects」では第4, 5, 6章で提案した各手法について、統一されたシステムとして統合する方法について述べている。第8章「Conclusion and Future Work」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、本論文は関節物体の理解に関して、従来技術とは異なるアプローチによる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、学術的に極めて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。