

## 審査の結果の要旨

氏 名 椋田 悠介

本論文は「Empirical Orthogonal Decomposition and Euclidean Embeddings for Image Feature Extraction」と題し、データに基づくカーネル近似による特徴抽出手法をコア技術とし、特徴量と位置情報からなるペアの集合からユークリッド空間への埋め込みという観点から統一的に画像特徴抽出手法の提案と解析をおこなったものであり、全8章からなる。実用的な画像特徴抽出のためには、次の4つの性質を満たす必要がある。1) 画像に関する事前知識を活用できること、2) データが保持する情報を活用し特徴量を学習できること、3) 特徴学習にかかるコストが少ないこと、すなわち少数のラベルなしデータから学習が可能であること、4) 性能解析が容易であること、である。既存手法でこれら全ての性質を満たす手法は無く、この4つの性質を持つ新たな特徴抽出手法を開発することが本論文の目的である。この目的に対し本論文では画像特徴抽出を局所特徴抽出、エンコーディング、プーリング、識別器からなるフレームワークとして構築し、各手法が対象領域内の特徴量と位置情報からなるペアの集合から、特徴量変換と位置情報変換のテンソル積の和としてユークリッド空間に埋め込む手法とみなせることを示した。そして、局所特徴抽出に対応する変換に対しては学習データの画素値から推定された分布に関する直交分解によるカーネル近似を用いた学習手法を、大域特徴抽出に対応する特徴量変換においては低ランク性の事前知識による行列多様体を用いた低次元成分の抽出、位置情報の変換においては局所位置変換不変性の事前知識を用いた関数空間における低次元成分の抽出として構築した。提案手法によりカーネル近似の学習を教師なしデータから低コストで学習できること、カーネルや特徴抽出に用いる空間の構築に事前知識を活用できること、さらにカーネル近似の性能評価による特徴量の性能評価が同時にできるようになる。

第1章「Introduction」では現状の特徴抽出手法の比較とその限界を説明し、本論文の目的を示している。続いて、第2章「Methods for Image Feature Extraction」で現状の特徴抽出手法についてより詳細に調査し、その性質と相違点を明らかにしている。

第3章「Feature Extraction Based on Empirical Orthogonal Decomposition」において本研究の中心になる教師なしデータを用いたカーネル近似に基づく特徴学習手法を提案し、さらに画像特徴抽出が特徴量と位置情報のペアの集合からユークリッド空間への埋め込みとみなせることと、その埋め込みの具体的な設計指針について述べている。

第4章「Application to Local Feature Extraction」において、第3章で提案した特徴学習手法を用いた局所特徴抽出手法を提案している。

第5章「Application to Feature Encoding」において、大域特徴抽出のための特徴量情報の変換として、行列多様体を用いた共分散統計量を低次元な特徴量に変換する手法を提案している。

第6章「Application to Feature Pooling」において、大域特徴抽出のための位置情報の変換として、画像内の局所特徴量群をまとめて画像平面から特徴空間への関数と見なし、関数空間内で低次元空間に直交射影する変換を構築している。

第7章「Evaluation of the Whole Architecture」においては第4章、第5章、第6章で提案した特徴抽出モジュールを全て組み合わせた教師なし画像特徴抽出手法の識別性能を評価し、データセット毎の性質の相違の評価や、既存の教師なし特徴学習手法と比較して提案手法が精度良く識別できることを実証している。

第8章「Conclusion and Future Work」において提案手法を総括した上で、画像特徴抽出に対する新たな視点に基づくフレームワークの構築と、そのための高性能な特徴抽出モジュールを提案したことが本研究の貢献であると結論付けている。

以上、これを要するに、本論文は画像特徴抽出手法を独自の視点から整理し纏め上げたものであり、さらに教師なしの画像特徴量学習として従来よりも理論的に見通しよく性能も高い手法の構築に成功している。

以上の理由から、本論文は智能機械情報学上貢献するところ大である。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。