

## 論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨の公表

学位規則第 8 条に基づき、論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

○氏名	AI DANNI (あい だんに)
○学位の種類	博士 (工学)
○授与番号	甲 第 775 号
○授与年月日	2011 年 9 月 25 日
○学位授与の要件	本学学位規程第 18 条第 1 項 学位規則第 4 条第 1 項
○学位論文の題名	Linear and Multilinear Independent Component Analysis for Color Image Classification (カラー画像分類のための線形及び多重線形独立成分分析)
○審査委員	(主査) 陳 延偉 (立命館大学情報理工学部教授) 白井 良明 (立命館大学情報理工学部教授) 徐 剛 (立命館大学情報理工学部教授)

### <論文の内容の要旨>

近年、画像認識・理解を実現する手法として、機械学習による画像分類が注目されており、画像から有効な特徴量を抽出し、効率よく画像を表現することが求められている。膨大な画像特徴量から有効な成分を抽出するために主成分分析 (PCA) や判別分析法 (LDA) などの線形部分空間法による特徴選択法も提案されている。しかし、PCA や LDA は 2 次統計量のみを用いているため、非ガウス分布の信号に対して正確に表現できない。

本研究では、独立成分分析法 (ICA) による画像表現と特徴選択について研究を行った。ICA は観測信号を各成分が互いに独立になる信号に変換する線形変換であり、高次の統計量を用いており、非ガウス分布の信号に対しても正確に表現できる。また、非直交な局所的な成分も得られるので、より柔軟に成分選択ができる。本研究では、主に以下の三つの研究成果が得られた。

1. 色の独立成分ベース SIFT 特徴量 (CIC-SIFT) を提案した。本提案法では、ICA を用いて各クラスに適応した色の独立成分を抽出し、その独立空間において SIFT 特徴量を抽出する。ICA を用いることで局所的な特徴を強調され、識別精度は向上した。

2. 従来の ICA による特徴選択法は、前処理法として PCA を用いて分散の大きい成分を選択し、それらの独立成分を求めている。ゆえに求められた独立成分は大域的な特徴しか表せない。本研究では物体認識に有効な局所的な成分選択法とスパース成分選択法をそれぞれ提案し、物体の形状を表す局所の特徴量を抽出することができ、物体認識の精度を向上させた。

3. さらに、従来の線形 ICA を多重線形 ICA に理論的に拡張した。複数の特徴量を一つのテンソルとして融合することができ、それぞれの成分を同時に選択することができた。カラー画像分類に有効であることが確認できた。

#### <論文審査の結果の要旨>

本論文では線形及び多重線形独立成分分析法 (ICA) を用いたカラー画像表現と特徴選択・融合方法を提案し、カラー画像分類においてその有効性を検証してきた。ICA は観測信号を各成分が互いに独立になる信号に変換する線形変換で、高次の統計量を用いており、非ガウス分布の信号に対しても正確に表現することができ、より柔軟に成分選択ができるようになった。以下の成果が評価に値する。

1. 色の独立成分ベース SIFT 特徴量 (CIC-SIFT) を提案した。本提案法では、ICA を用いて各クラスに適応した色の独立成分を抽出し、その独立空間において SIFT 特徴量を抽出する。ICA を用いることで局所的な特徴が強調され、識別精度は向上した。提案手法は、画像の特性を考慮した色変換法であり、様々な分野に応用できる。
2. 従来の ICA による特徴選択では、前処理に PCA を用いて分散の大きい成分を選択し、それらの独立成分を求めている。そのため、求められた独立成分は大域的な特徴のみとなり、物体認識に有効ではない。本研究では画像の局所的な変化にしか寄与しない基底を局所的な成分と定義し、その局所的に変化する範囲を定量化することにより局所的な成分を抽出する手法を提案した。また、基底の中に殆どの要素がゼロである基底をスパース基底と定義し、L0 ノルムを用いてスパースの定量化することによりスパース成分を選択する手法も合わせて提案した。以上の手法により物体認識の精度を向上させた。
3. 従来の線形 ICA を多重線形 ICA (GND-ICA) に理論的に拡張した。複数の特徴量を一つのテンソルとして融合することができ、それぞれの成分を同時に選択する方法を提案した。実験結果を通してカラー画像分類に有効であることが確認できた。GND-ICA は、多次元信号解析の一つの枠組として評価できる。

本論文の審査に関して、2011年10月21日(金)16時20分~17時20分クリエイションコア5階メディア情報学科会議室において公聴会を開催し、申請者による論文要旨の説明の後、審査委員は学位申請者 Ai Danni に対する口頭試問を行った。各審査委員および公聴会参加者より、研究の新規性や局所成分の選択方法などの質問がなされたが、いずれの質問に対しても申請者の回答は適切なものであった。よって、以上の論文審査と公聴会での口頭試問結果を踏まえ、本論文は博士の学位に値する論文であると判断した。

#### <試験または学力確認の結果の要旨>

本論文の主査は、本論文提出者と本学大学院理工学研究科総合理工学専攻博士課程後期課程在学期間中に、研究指導を通じ、日常的に研究討論を行ってきた。また、本論文提出後、主査および副査はそれぞれの立場から論文の内容について評価を行った。

本論文提出者は、本学学位規程第18条第1項該当者であり、論文内容および公聴会での質疑応答を通して、本論文提出者が十分な学識を有し、課程博士学位に相応しい学力を有していると確認した。

以上の諸点を総合し、本論文提出者に対し、「博士(工学 立命館大学)」の学位を授与することを適当と判断する。