早稲田大学大学院情報生産システム研究科

博士論文審査結果報告書

論　文　題　目

Study on Multi-Scans Based Invariant Feature Descriptors and Their Applications

申　請　者

Wei ZHOU

情報生産システム工学専攻
イメージメディア　研究

2013 年　2 月

近年，セキュリティ，ロボット産業などの発展に伴い，画像処理技術の需要が高まってきている．画像からの不変特徴の抽出は，画像処理およびコンピュータビジョン分野において，ここ数十年にわたって，文字読取装置，顔や指紋などによる生体認証，ビデオ監視など数多くの応用研究の重要な課題となっている．対象物の特徴抽出を行う場合，画像の特徴量は，異なる撮影位置，異なる照明条件，異なるカメラの角度により一般に大きく変動する．不変特徴記述子としては，様々な条件下で撮影された画像の対象物の特徴量が変わらず，かつ対象物の種類を識別するカテゴリ識別能力が高いことが望まれる.この要請から不変特徴記述子の研究は，1990 年代から Local Binary Patterns (LBP, Ojala et al (1994))，あるいは Scale Invariant Feature Transform (SIFT, Lowe(1999)) やその拡張 Gradient Location-Orientation Histogram (GLOH, Mikolajczyk et al(2005))などの発表により急速に発展してきた．不変特徴には，対象物を含む画像において拡大縮小に対する不変性，回転に対する不変性，照度変化に対する不変性，アウトライヤ（カテゴリ識別においてエラーを引き起こす外れ値）に対する不変性，物体の一部が隠れたりするオクルージョンに対する不変性などが存在する．従来研究として前述の SIFT, GLOH は，拡大縮小や回転に対しては不変であるが，照明変化には若干弱い，あるいは LBP は回転に対して弱い，などの問題がある．本研究は，これらの５つの不変性を保持し，かつ高精度のカテゴリ識別能力を有する不変特徴記述子を提供するものである．

本研究では，不変特徴記述子の応用として顔認識とテクスチャ解析を取り上げ，不変特徴記述子と連動した画像マッチング手法の確立を行っている．これは，画像マッチングにおいて主要な要素技術である類似度尺度について 2 種類の新たな方法について検討している．本研究は，画像処理あるいはコンピュータビジョンの分野において，不変特徴記述子に関する 5 種類の不変性に対する解法を提案している点でその意義は高く，画像認識研究の新たな展開を示すものと言える．以下，各章ごとにその概要を示し評価を与える．

第 1 章「Introduction」では，画像の不変特徴記述子の主要な従来技術について概説し，不変特徴記述子の問題点とその対策を明らかにしている．また，顔認識，あるいはテクスチャ解析における画像マッチング手法の従来研究との相違点を明らかにしている．

第 2 章「Invariant 1D Local Feature Descriptors by Multi-Scans」では，画像の局所領域に対して様々な回転角に基づいた走査により 1 次元輝度データ系列に変換し，その 1 次元データに対して多重ダウンサンプリングと勾配コーディングを適用して，拡大縮小に対する不変性，回転に対する不変性，照度変化に対する不変性を解決する不変特徴記述子を実現している．複数走査により回転不変性を吸収し，多重ダウンサンプリングにより 1 次元データを様々な間隔でダウンサンプリングすることで拡大縮小に対する不変性を吸

収している．また，勾配コーディングにより，複数の 1 次元輝度データ系列を各点の勾配に比例した写像を行うことでコードに置き換え，照度変化に不変な特徴を抽出している．拡大縮小画像，回転した画像，照度の異なる画像などを含む約５０種類の標準画像を用いたカテゴリ識別実験により，提案手法は，従来手法 LBP, SIFT, GLOH など 6 種類の不変特徴記述子と比較し，カテゴリ識別精度が約５％向上することを確認している．本研究は，複数走査からの多重ダウンサンプリングと勾配コーディングによる特徴を生かした不変特徴記述子の着想により，高精度のカテゴリ識別を可能にしたことが評価できる．

第 3 章「Invariant Local Curvelet Feature Descriptors by Multi-Scans」では，第 2 章の不変特徴記述子を拡張し，拡大縮小，回転，照度に加えて，アウトライヤ，オクルージョンを含む 5 種類の不変特徴を実現するために，エッジ情報を保存した画像変換である Curvelet 変換と，L1 ノルムによる線形判別関数を用いた写像をベースにした新たな不変特徴記述子を提案している．ここで，L2 ノルムがユークリッド距離により計算を行うのに対して，L1 ノルムはマンハッタン距離によって計算を行うものである．具体的には，画像の Curvelet 変換により得られた Curvelet 係数成分に対して複数走査および勾配コーディングを適用してコード系列を得，さらにアウトライヤやオクルージョンに強い L1 ノルムによる線形判別関数を用いた写像により不変特徴抽出を行うものである．第 2 章において使用したデータセットを用いた評価実験では，カテゴリ識別精度に約 3 パーセントの向上が見られ，かつアウトライヤやオクルージョンの不変性に強いとされるガボールフィルタによる主成分分析法(Li et al (2009))などの不変特徴記述子より、約 2～3%性能向上が見られることを確認している．このように第２章で述べた不変特徴記述子を拡張して，アウトライヤやオクルージョンに対する不変性を取り入れた，よりカテゴリ識別精度の高い不変特徴記述子を実現できたことが評価できる．

第 4 章「Face Recognition with Multi-Scans based Invariant Feature Descriptors」では，第 3 章で述べた不変特徴記述子において，L1 ノルムによる線形判別関数を拡張し，また新たな Earth Mover’s Distance（EMD）を導入して画像マッチングを実現している．一般に，顔画像では，顔の角度，照明などの異なる撮影条件の変化や，めがね，マスクなどのオクルージョンなどが発生するが，見た目には大きな違いがある．本研究では画像の部分画像（ブロック）に対して L1 ノルムによる線形判別関数を適用し，コード系列をヒストグラム表現に置き換えてヒストグラム間距離として重み付き Earth Mover’s Distance を導入して類似度を計算している．この類似度尺度は，エッジに基づくため，顔画像のオクルージョンなどの差異にあまり影響されない．実験では，顔画像の 4 種類の標準データセット ORL, FERET, FRGC, AR を用いて大規模評価実験を行っている．実験の結果，近年提案されている数

多くの顔認識手法の中から主要な20種類を選択し，比較評価を行い，2～3%の性能向上を確認している．また，サポートベクターマシンと組み合わせた顔画像による男女識別や表情認識への拡張を検討している．ブロック単位のL1ノルムからの線形判別関数への拡張と画像マッチングにおける新たな類似度尺度の導入により，高精度な顔認識アルゴリズムを実現できたことが評価できる．

第5章「Texture Classification with Multi-Scans based Invariant Feature Descriptors」では，前章において述べたL1ノルムによる線形判別関数に加えて，Correntropyによる線形判別関数を用いた画像マッチングを提案し，テクスチャ解析への応用を検討している．Correntropyとは Liu et al(2007)によって提案され，相関関数とエントロピーを合成させた類似度尺度である．テクスチャ解析は，タイル，着物などに見られる紋様を含む画像を対象とし，どのような紋様が近いか，あるいは紋様の中にキズがあるかなどで様々な応用研究がある．本研究は，このようなテクスチャ画像に対応できる類似物の画像マッチングを実現しようとするものである．一般に公開されているBrodatzデータセットやコロンビア大学において公開されている大規模データセットCUReTを用いて評価実験を行った結果，Guo et al(2009)のLBPを拡張した手法やVarma et al(2009)による統計的手法など5種類の従来のマッチング手法と比べ，数パーセントのカテゴリ識別精度の向上を確認している．特に，CUReTにおいて識別が困難とされるサブセットT23では約10%の精度向上を確認している．テクスチャ解析においてCorrentropyによる線形判別関数を用いて高精度のカテゴリ識別が可能な新たなマッチング手法を考案したことが評価できる．

第6章「Conclusion and Future Work」では，本論文をまとめ，顔認識やテクスチャ解析への応用分野において，更なるカテゴリ識別の高精度化について今後の課題を挙げている．

以上要するに本論文は拡大縮小，回転，照度変化，アウトライヤ，オクルージョンに対して不変特徴記述子を確立することを目的とし，複数走査，Curvelet, L1ノルムやCorrentropyによる線形判別関数などによる識別を検討し，従来法に対する頑健性を示したもので，画像工学上価値ある業績と言える．よって本論文は博士（工学）の学位論文に値するものと認める．

2012年　1月　30日

主査　早稲田大学　教授　博士（工学）（九州工業大学）　鎌田　清一郎
早稲田大学　教授　博士（情報工学）（九州工業大学）　古月　敬之
早稲田大学　教授　博士（工学）（早稲田大学）　松丸　隆文
九州大学　教授　工学博士（九州大学）　谷口　倫一郎