

## 学位論文及び審査結果の要旨

横浜国立大学

氏名	齊藤 航太
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	環情博甲第359号
学位授与年月日	平成27年3月25日
学位授与の根拠	学位規則(昭和28年4月1日文部省令第9号)第4条第1項及び横浜国立大学学位規則第5条第1項
研究科(学府)・専攻名	環境情報学府 情報メディア環境学専攻
学位論文題目	高次元特徴空間の超低次元化に基づく物体認識 (Object Recognition Based on Super Reduction of High-dimensional Feature Space)
論文審査委員	主査 横浜国立大学 教授 長尾 智晴 横浜国立大学 教授 田村 直良 横浜国立大学 教授 森 辰則 横浜国立大学 准教授 岡嶋 克典 横浜国立大学 准教授 富井 尚志

## 論文及び審査結果の要旨

近年、製造工程における製品中の異物混入検査、監視カメラ映像中の不審物・不審者の自動検出、医用画像中の患部領域の自動抽出や自動診断支援など、画像認識技術が社会や産業の様々な場面で利用されるようになってきている。今後、第四次産業革命と言われる産業の知能化において、コンピュータによる画像認識の精度向上は必須である。画像認識では、認識対象の画像から色・形状・テクスチャなどに関する多数の特徴量を求め、それらの特徴量を各軸とする多次元空間を、例えば“Good”と“No Good”などの複数のクラスに分割し、入力した画像がどのクラスに写像されるかで認識を行う方法が一般的である。その際、実用的な画像認識では特徴空間が数百～数万次元の多次元空間になる場合がほとんどであり、特徴空間の分割処理を非常に複雑にするとともに認識精度の低下を招いているのが現状である。また、昨今では画像認識処理を利用する人にとって認識アルゴリズムの説明が求められており、人にとって分かり易い認識処理を作ることが望ましい。本論文では、特徴空間を認識精度を落とすことなく低次元化し、3次元空間に変換することで、コンピュータが行なっている画像の分類処理を人に直観的に分かり易くする画像認識手法を提案するとともに、各種の画像認識のベンチマーク問題や3次元実環境中の人物や物などの認識実験を通してその有効性を示したものであり、序論(第1章)と結論(第6章)を含めて6章から構成されている。

第2章「本研究に関する先行研究」では、提案する方式に関連する従来研究として、進化計算法、画像特徴量、特徴量の低次元化、データの自己組織化、特徴量の自動構築などについて述べ、従来手法の問題点と本論文で提案する方式の学術的意義を明らかにしている。特に本研究に関連が深い自己組織化マップSOM(Self Organizing Maps)、提案手法で利用しているCGPなどの進化計算法について、その原理と適用範囲、残された課題などについて述べている。本章での考察を基にして、本研究で目指す特徴空間の低次元化の満たすべき仕様を明らかにしている。

第3章「人物の部分領域に着目した姿勢変化や隠れに頑健な人物検出」では、解決すべき課題を明らかにするための第一段階の実験として行なった3次元実環境中の移動センサによる物体認識実験について述べている。人が立位で乗って運転する移動台車(Segway)に距離センサ・可視光カメラを搭載して屋内を巡回する間に可視光カメラの視野内に出現した人物を、その姿

勢を問わず安定して検出する具体的な問題を扱っている。そして、求めた距離データと可視画像データの両方を用いて画像の領域分割を行なって画像を小領域に分割した後、人物を構成する小領域を接続して人物であるかないかを認識する方式を提案している。実験を通して、実環境における人物などの画像認識では、一般に特徴空間が高次元になり、結果として構築された画像認識アルゴリズムが認識処理の低次元化が重要であることを示している。

第4章「データの自己組織化に基づく特徴量の超低次元化・可視化およびデータのクラスタリング」では、第3章で得た知見をもとに、一般に高次元の特徴空間を自己組織化によって球面に写像して可視化する方式を提案している。提案手法では、処理前は球の表面中にランダムに散っていた学習用事例データが、その特徴量をもとに、特徴量が類似するデータどうしが球の表面でも近い位置に来るような写像を自動的に得ることができると述べている。提案手法を認識アルゴリズムのベンチマーク問題のデータセットに対して適用してその認識精度と分類の見易さを評価している。その結果、提案手法を用いることで、認識精度をほとんど落とすことなく、学習用事例データの分布状態を従来の SOM などより分かり易く表現できることを示している。

第5章「画像セットを用いた画像特徴量の組み合わせによる特徴量の超低次元化・可視化およびその物体認識への応用」では、進化計算法によって数式を最適化することができる手法である CGP (Cartesian Genetic Programming) を用いて元の特徴空間をより低次元の空間へと変換する手法を提案している。元の特徴空間を入力データとし、出力をそれらを数式で組み合わせた新しい特徴量に変換する式を、学習用事例データに対する CGP を用いた数式最適化で求めることで、特徴空間の次元を減らしている。実験では、低次元化を階層的に3段階に行うことで特徴空間の次元数を徐々に下げ、最終的には3次元の特徴空間を求めている。そして、学習事例データがその3次元特徴空間中のどこに写像されるかを確認することで、類似のクラスがたまって存在する優れた特徴空間を得ることができ、人に分かり易い分類が行なえていることを示している。実験では、提案手法をベンチマーク問題、医用画像の自動分類、3次元空間中の物体認識などに適用してその有効性を定量的に確認している。

第6章「結論」では、本論文の成果を総括している。

以上のように、本論文は、高次元の特徴空間を超低次元化する新たな方式とその有効性を定量的に検証したものであり、学術的新規性および産業への実用性が高い。本研究の成果は、査読付き論文誌の正論文1編、正論文相当のフルペーパー査読付き国際会議論文2編、および多数の口頭発表、IEEEからの優秀論文発表賞の受賞などを通して公表され、いずれも高く評価されている。

以上から本論文は博士(工学)の学位論文として十分な価値を有すると審査委員全員一致して認め、平成27年1月19日(月)10時00分から11時30分まで総合研究棟1階S113室において博士論文発表会(公聴会)を開催した。博士論文発表会では充実した質疑応答がなされた。

同日11時30分より12時00分まで、同室において審査委員全員出席のもと、大平良司氏の最終試験を行った。はじめに同氏より博士論文の内容と関連する学術論文の公表状況について説明があり、審査委員からは博士論文に関する質問、画像処理を中心とする専門分野および情報学・工学関連分野における専門知識に関する質問がなされた。この質疑応答の結果、専門知識、博士論文の内容の公表状況について十分であることを確認した。外国語については、本人が国際会議で自身の研究を英語で発表していることをもって学力を確認した。また、履修単位が修了要件を満たすことを確認した。これらから、同氏は最終試験に合格であると、審査委員全員一致で判定した。

以上の論文審査委員会の結論に基づき、環境情報学府 情報メディア環境学専攻会議にて審議し、全員一致で本論文を博士(工学)の学位論文としての価値があるものとして環境情報学府教授会に付議することを決定した。その後、環境情報学府学務委員会での確認を経て、平成27年3月9日(月)に開催された環境情報学府教授会において審議を行い、無記名投票により、齊藤航太氏に博士(工学)の学位を授与することを決定した。