

学位論文及び審査結果の要旨

横浜国立大学

氏名	夏井 裕介
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	環情博甲第1996号
学位授与年月日	平成30年3月23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	進化計算法を用いたシングルフレーム超解像処理の自動構築 Automatic Construction of Single Frame Super-Resolution Using Evolutionary Computation
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 岡嶋 克典 横浜国立大学 教授 森 辰則 横浜国立大学 准教授 富井 尚志 横浜国立大学 講師 白川 真一

論文及び審査結果の要旨

低解像度画像を高解像度の画像に変換する画像処理は超解像処理と呼ばれ、カメラやディスプレイなどにおいて必須の技術であるだけでなく、監視カメラ映像の先鋭化など社会的ニーズが高い画像処理技術である。超解像処理は、動画像に対するマルチフレーム超解像と、静止画像に対するシングルフレーム超解像に分類される。前者はサンプリングポイントがずれた多数の画像を用いることができるため対象の真値を決定することができる場合が多く比較的容易であるが、後者は真値を決定することができない条件下で解像度を上げる処理を実現する必要がある、前者より困難である。これまでに、多数のシングルフレーム超解像処理手法が提案されているが、昨今、深層学習(ディープラーニング)を用いて超解像処理を構築する手法の有効性が認められている。一方、深層学習は一般に10~100層以上の多層の階層型ニューラルネットワークであり、膨大な数の素子と結線が必要なため装置への実装には向かないという大きな欠点がある。そこで本論文では、高精度の超解像処理を、最適化法の一つである進化計算法を用いることで比較的小規模な回路で実現する複数の手法を提案し、それらの有効性を実験的に検証している。本論文は序論(第1章)と結論(第7章)を含めて7章から構成されている。

第2章「本研究に関する関連研究」では、超解像処理の従来手法について述べ、本研究で解決すべき課題を明らかにしている。また、本研究で提案する手法の基礎となる進化計算法の基本的な考え方や具体的な方法論について述べている。

第3章「複数のグラフ構造式を組み合わせた超解像処理」では、3×3画素ごとの超解像変換処理をCGP(Cartesian Genetic Programming)を用いて簡単な演算子の組合せで表現する基本手法を提案している。CGPはあらかじめ用意した演算子や関数を非終端ノード、変数や定数を終端ノードとし、遺伝的プログラミング(GP)によって木構造を構築することで、入力と出力の関係式を多項式として自動生成する手法である。本章では実験により提案手法の有効性を検証している。

第4章「周囲の画素の関係性を考慮した超解像処理」では、拡大画像の周囲の画素の関係性を考慮し、拡大処理で出力された画像に対して補正を行うことで高画質化を実現する方式を提案している。補正処理を繰り返し実行することで、徐々に出力画像を補正している。提

案手法は拡大処理と補正処理の2つの処理から構成されており、CGPを用いてそれぞれの処理を構築している。実験では、並列計算による高速処理が可能であることを確認している。

第5章「画像の領域に適した超解像処理」では、これまでに提案した手法が全ての画素に対して同一の処理を適用しているが、画像には平坦な部分やエッジ部分など多様な領域が存在していることに注目し、各領域に特化した処理を構築することで画質を向上する手法を提案している。入力画像を変換する Conversion 処理と拡大する Upscaling 処理を組合せ、各処理を CGP を用いて構築している。この際、複数のグラフ構造式を同時に学習・最適化している。実験でその有効性を検証している。

第6章「Deep Learning を用いた超解像処理手法との比較」では、近年注目されている Convolutional Neural Network (CNN) を用いて超解像処理を実現した SRCNN に実験設定を合わせて提案手法と比較している。その結果、これまでに提案した手法を組み合わせた提案方式は、画質評価において若干 SRCNN に劣る結果となったが、SRCNN より圧倒的に少ない積和演算で処理を実現することができており、実装の観点からは優れていると言える」と述べている。

第7章「結論」では、本研究の成果を総括している。

以上のように、本論文では、比較的小規模な回路によって高精度の超解像処理を進化計算法を用いた機械学習によって自動構築する画像処理手法を複数提案し、それらの有効性を実験により確認したものであり、学術的新規性が高いだけでなく、監視カメラ映像処理への応用など、実用上も利用価値が非常に高い。本論文の成果は、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員全員一致して認め、平成30年2月9日（金）14時30分から16時00分まで、総合研究棟1階S113室において博士論文公聴会を開催した。博士論文公聴会では充実した質疑応答がなされた。

同日16時00分から16時30分まで、総合研究棟1階S113室において審査委員全員出席のもと、夏井裕介君の博士論文最終試験を行った。始めに、同君より同君の博士論文「進化計算法を用いたシングルフレーム超解像処理の自動構築 (Automatic Construction of Single Frame Super-Resolution Using Evolutionary Computation)」の概要と、博士論文に関連する学術論文の公表状況、大学院講義の単位取得状況などについて説明があった。これに引き続き質疑応答を行った。審査員からは博士論文に関する質問、一般専門知識に関する質問などがあり、学力及び博士号取得資格の確認を行なった。発表論文については、学術論文（正論文）が1編、査読付国際会議論文（正論文相当）が2編採録されていることから、博士号取得の資格を十分に満たしていることを確認した。外国語については、本人が国際会議において英語で発表していることから学力を確認した。また、履修単位が修了要件を満たしていることを確認した。以上により、同君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、平成30年2月15日に開催された環境情報学府 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30年3月5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、夏井裕介氏に博士（工学）の学位を授与することを決定した。