

氏名	Ng Suit Mun
博士の専攻分野の名称	博士（工学）
学位記番号	医工農博甲第141号
学位授与年月日	令和6年3月22日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
専攻名	工学専攻 システム統合工学コース
学位論文題目	Hybrid Image Reconstruction Algorithm for Low-Resolution Images (低解像度画像用のハイブリッド画像再構成アルゴリズム)
論文審査委員	主査 教授 茅 暁陽 教授 西崎 博光 教授 柏木 賢治 教授 豊浦 正広 教授 牧野 浩二 准教授 Latifah Munirah Kamarudin

学位論文内容の要旨

Hybrid Image Reconstruction Algorithm for Low-Resolution Images.

(低解像度画像用のハイブリッド画像再構成アルゴリズム)

Image Super-Resolution (SR) is a transformative method that upgrades Low-Resolution (LR) images to High-Resolution (HR) by replenishing missing high-frequency details. The SR domain is bifurcated into Multiple Image Super-Resolution (MISR) and Single Image Super-Resolution (SISR), with MISR synthesizing a detailed HR image from multiple LR sources, necessitating precise alignment, and SISR producing an HR image from a singular LR input, offering flexibility but challenged by the need to extract detailed information from scant data.

SR techniques are categorized into three main strategies: interpolation-based methods, such as nearest neighbor and bicubic interpolation, which are straightforward but tend to produce blurred HR images; reconstruction-based methods, which model and then reverse the degradation process of LR images to generate HR counterparts, demanding a comprehensive understanding of image degradation; and learning-based methods, which leverage machine learning algorithms to predict HR images from LR ones, encompassing dictionary learning-based SR, deep learning-based SR, Support Vector Machine (SVM)-based SR, and random-forest based SR. This dissertation focuses

on learning-based SISR, specifically utilizing dictionary learning with sparse representation algorithms, demonstrating significant efficacy in enhancing image quality, even in challenging noisy environments.

A notable innovation within this research is the introduction of a hybrid SR approach that merges the strengths of both dictionary learning-based and deep learning-based SR methods. This novel strategy is aimed at improving image quality across both color and grayscale spectrums, highlighting the crucial role of grayscale images in medical imaging. The research aims to broaden the application of SR techniques across various imaging fields, with a special emphasis on agriculture for detecting and classifying thrips pests, proposing an integrated end-to-end automatic counting system to refine pest detection and classification, thereby optimizing the monitoring process in agricultural practices.

First, a comprehensive comparative analysis assesses the integration of dictionary learning with sparse representation algorithms, revealing that the combination of the Douglas-Rachford algorithm with k-SVD (KSVD_DR) surpasses other methods in enhancing LR images. The KSVD_DR scheme, which employs the Douglas-Rachford algorithm and k-SVD for improved computational efficiency, is highlighted for its effectiveness in SISR image reconstruction, notably enhancing grayscale image resolution.

Further, the dissertation develops a novel hybrid technique, combining dictionary learning-based methods with transformer-based deep learning for post-SR image enhancement. This approach, utilizing KSVD_DR for Pathway 1 and the Image Processing Transformer (IPT) for Pathway 2, ensures high-quality image resolution suitable for a range of applications, including general color and medical grayscale images. Comparative evaluations against leading methods indicate the hybrid approach's superiority in visual quality and performance metrics, despite a slight lag in PSNR compared to state-of-the-art deep learning-based SR methods, but showing better performance on grayscale images post-finetuning.

Moreover, the research extends the KSVD_DR method's application to agriculture, significantly enhancing pest detection accuracy through SR processing. Validation results, particularly with the Yolov8 detection model, underscore the method's impact on improving thrips detection accuracy. The dissertation proposes an integrated automatic counting system for farmers, leveraging the SR technique to streamline agricultural monitoring processes.

However, it acknowledges the slight lag of its final images behind deep learning-based SR methods in PSNR values for color images, yet excels in grayscale image processing, surpassing the IPT model post-finetuning. Future efforts will focus on enhancing color image processing and expanding the dataset to include yellow traps for broader agricultural application, alongside improving the classification model to tackle data imbalance issues, aiming for more accurate and comprehensive pest management solutions.

In conclusion, this dissertation significantly advances SR techniques, showcasing their practical applicability in agriculture, and underscores the importance of continuous optimization to extend their utility across various imaging domains.

論文審査結果の要旨

画像超解像 (SR) 技術は、医療画像や農業などの分野で不可欠とされ、低解像度 (LR) 画像を高解像度 (HR) バージョンに強化し、画像の品質と利用可能性を向上させる。SR は、複数画像超解像 (MISR) と単一画像超解像 (SISR) に大別される。MISR は複数の LR 画像を組み合わせて詳細でノイズの少ない HR 画像を作成するが、正確なアラインメントが必要であり、時間がかかる場合がある。一方、SISR は単一の LR 画像から HR 画像を生成する能力を持ち、より広い適応性を提供するが、限られたデータから詳細情報を抽出するという課題に直面する。SR 技術は、ぼやけた画像を生じさせがちな補間ベースの方法、LR 画像の劣化プロセスをモデル化する再構築ベースの方法、そして機械学習アルゴリズムを使用して LR 画像から HR 画像を予測する学習ベースの方法に分類される。学習ベースの方法には、辞書学習ベース、深層学習ベースなどが含まれる。

本博士論文は、辞書学習とスパース表現アルゴリズムを用いた学習ベースの SISR に焦点を当て、辞書学習ベースの方法と深層学習技術を組み合わせた新しいアプローチを提案した。まず、ダグラス・ラチフォードアルゴリズム、ソフトスレッシュホルディング、直交マッチングパースト (OMP) を含む様々なアルゴリズムによる辞書学習の効果を、従来のスパース正則化方法と比較し、辞書学習にダグラス・ラチフォードアルゴリズムを統合することが、ピーク信号対雑音比 (PSNR) と構造類似性指数 (SSIM) において他の方法を上回ることを明らかにした。そして、この分析結果を基に、KSVD_DR と名付けられた単一画像超解像 (SISR) スキームを提案した。このスキームは、効率を向上させるためにダグラス・ラチフォードアルゴリズムと k-SVD を組み合わせ、トレーニングフェーズで得られた辞書を使用して低解像度パッチから高解像度画像を再構築する。特にグレースケール画像の解像度向上に優れた効果を発揮できることを実験で示すことができた。最後に、辞書学習ベースの方法と Transformer ベースの深層学習を組み合わせたハイブリッド技術も提案した。辞書学習は、グレースケール画像のコントラスト強化に優れており、深層学習は広範なカラー画像データセットでのトレーニングにより、カラー画像の詳細情報の再構築に優れた効果が期待できる。このハイブリッドアプローチは、辞書学習のグレースケール画像におけるコントラスト強化の能力と、深層学習のカラー画像における精度とを組み合わせることで、画像品質を全体的に向上させることが可能である。

さらに、本研究は KSVD_DR 超解像法を農業に適用し、アザミウマの検出と分類精度の大幅に向上に成功した。これを基に、農業害虫管理の効率を高めるための自動カウントシステムも実装した。

研究成果として、査読付き国際ジャーナル論文 2 本、国際会議論文 5 本を発表した。最終試験は、博士論文評価ガイドラインに従って実施され、研究背景、概念の定義、アルゴリズム設計、実装方法、評価実験の妥当性と信頼性などが詳細に検討された。試問の内容において妥当な解答が得られたこと、並びに発表論文の基準を満たすものであったことから、博士論文審査委員会は博士に相応しい学力と見識を有するものとして認め、最終試験を合格とした。