

論文内容の要旨

博士論文題目 多様な光計測系のための超解像技術の一般化

氏 名 北野 和哉

(論文内容の要旨)

物体に光を照射した際に生じる様々な光学現象は、その物体の物理的な性質を反映している。そのため、物体に照射した光の波長軸または時間軸の変化を観察する方法が科学分野で幅広く利用されてきた。一般的に、光が示す応答を計測する手段として固体撮像素子が用いられる。固体撮像素子は、半導体の微細化や技術の進歩と共に空間解像度や感度が向上したが、微細化の限界や撮像素子に利用される材質の制約によりこれ以上の性能向上が困難であると言われている。科学分野では、新たな事象を発見するために撮像系の分解能や計測範

囲、感度などの進歩が期待される。そのため今後も撮像系の性能を向上させる必要がある。コンピュータビジョンの分野では低解像度な画像から高解像度な画像を復元する超解像と呼ばれる技術が存在する。

本論文では、超解像技術を画像以外の多様な計測系に応用することで、既存の計測系に対する分解能の向上を実現する方法を提案する。画像の超解像技術から高分解能な計測に必要な要素を一般化し、多様な計測系に対する超解像計測モデルを提供する。一例として時間軸と波長軸に対するサンプリング方法と観測過程の推定手法を検討し、提案した超解像手法を実際の計測機器に対して実装することでその有効性を示す。時間軸の超解像手法として、遅延回路を用いて間接的に露光時間をずらす方法を提案し、Time-of-Flight カメラに提案手法を実装した。実環境での計測を実施し、20ns のサンプリング幅から 250ps の超解像を達成した。また、波長軸の超解像手法として、分散型分光器に二次元の撮像素子を取り付け、それを少し傾斜させることにより各行で得られる観測を少しずつ変化させる方法を提案し、波長依存の観測過程を推定する方法として疎な原子輝線から補間する手法を提案する。分散型の分光器を構築し、計測した分光分布からボケ関数を除去することで約 12.9 倍の超解像を達成した。

氏 名	北野 和哉
-----	-------

(論文審査結果の要旨)

本論文では、多様な光計測系に対する分解能向上を目的とした超解像技術の一般化を提案している。光計測に利用される固体撮像素子は、半導体の微細化や技術の進歩と共に空間解像度や感度が向上したが、回折限界による影響や微細化の限界、撮像素子に利用される材質の制約によりこれ以上の大幅な性能向上が困難である問題があった。その解決方法としてコンピュータビジョン分野では、低解像度な画像から高解像度な画像を復元する超解像技術が用いられてきた。本論文は、画像における超解像技術を一般化し、多様な光計測系への応用方法を示し、一般化された超解像モデルとそれらを実際に時間軸と波長軸に応用する方法を提案している。

超解像モデルの一般化では、画像における超解像技術を基礎とし、それらを一次元の計測に対して応用する方法を提案し、多様な光計測系への応用可能性を示している。また、多様な計測系に対してサブサンプリングや観測過程の推

定方法の実装に関する検討を行い、実際に時間軸と波長軸に対して超解像を実装している。

時間軸の超解像では、遅延回路を用いて間接的に露光時間をずらす方法と、実測と推定による観測過程のモデル化方法を提案し、時間軸における超解像計測を実証している。実際に、Time-of-Flight カメラに遅延回路を組み合わせて提案手法を実装し、実験より 20ns のサンプリング幅から 0.25ns の超解像を達成している。また、観測群から空間中で生じる光学現象を時間的に可視化する Light-in-Flight 画像を復元し、空間中で生じる時間応答を可視化した。

一方、波長軸の超解像では、二次元の撮像素子を僅かに傾斜させることで分光分布を行ごとにサブサンプリングする方法と、波長依存の観測過程を推定する方法として疎な原子輝線から補間する手法を提案し、波長軸における超解像計測を実証している。実際に、分散型分光器を構築し、計測した分光分布を超解像することで約 12.9 倍の超解像を達成した。

以上のように、本論文では、多様な光計測系に対する分解能向上を目的として画像における超解像技術の一般化を提案し、実験によってその有用性を示している。

本研究は、コンピュータビジョン分野において、学術面での貢献を認めることができる。本論文の主要部分に相当する内容に関しては、学術論文誌に論文が掲載されるとともに、国際会議等においても公表されている。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値ある物と認める。