

赤外線領域におけるシングルピクセルイメージング

—研究動向と深層学習に基づく SPI 望遠鏡—

電気通信大学 情報理工学研究所
児玉晋二朗, 渡邊恵理子

1. はじめに

天体観測や災害時の遠隔監視, 環境計測などの実環境観測において, 高精度なイメージング技術は不可欠である。しかし実環境下では, 大気ゆらぎや霧・靄といった時間的・空間的に変動する媒質の影響により, 像の歪みやぼやけが生じ, 観測性能が著しく制限される。大気ゆらぎは波長依存性を有し, 一般に可視域に比べて近赤外域では影響が小さいことが知られている。一方で, 散乱媒質の影響は粒子径分布や観測条件に強く依存するため, 単一の波長帯に依存した観測では安定した計測が困難である。これらの背景から, 実環境下において広波長帯域にわたり高精度に機能するイメージング手法が求められている。

しかし従来の赤外光学系では, 2次元検出器の高コスト化や冷却機構の必要性, 光学系の大型化といった実装上の制約が顕在化しており, 広帯域化や高機能化には限界があった。こうした制約を背景に, 近年注目されているのがシングルピクセルイメージング (Single-pixel Imaging : SPI) である。SPI は, 空間光変調器によって光の空間情報を時間的に符号化し, 単一の光検出器で取得した信号から画像を再構成する計算撮像技術であり, 撮像性能が2次元検出器の画素構造や材料制約に強く依存しないという特長を有する。この性質により, SPI は可視域から赤外域, さらには中赤外・テラヘルツ帯に至るまで, 同一の原理に基づいて適用可能な柔軟な撮像基盤として位置づけられている。

さらに近年では, SPI の時間的符号化という特性を活かし, 多波長情報の同時取得やノイズ環境下での堅牢な再構成を目的とした研究が進展している。特に, 深層学習を再構成過程に組み込むことで, 大気ゆらぎや低信号対雑音比といった実環境特有の劣化要因を補償し, 高精度なイメージングを実現する試みが注目されている。

本稿では, 赤外光学系における SPI の原理と技術的利点を概観した上で, 可視光・赤外領域における研究動向およびノイズ環境下での発展を解説する。さらに, 著者らが開発した深層学習に基づく SPI 望遠鏡による可視・近赤外同時イメージングを例に, 実環境観測への応用の可能性を示し, 今後の赤外 SPI 光学系の発展方向について展望する。

2. シングルピクセルイメージング (SPI) の原理と赤外領域での利点

2-1 SPI の基本原理

SPI の代表的な光学系を図 1 に示す。SPI は, 空間的に符号化された複数のパターンと撮影対象を時系列に対応付け, 各パターンに対して単一画素検出器で得られる光強度信号を用いて, 画像を計算的に再構成する撮像手法である。各測定値は, 対象物体と符号化パターンとの空間的な内積に対応しており, 解析的・計算することで空間情報を復元できる。計測モデルや再構成アルゴリズムの詳細については既存の文献を参照されたい。

SPI の計測方式は, 図 1(a)に示す構造化検出法と, 図 1(b)に示す構造化照明法の 2 つに大別される。