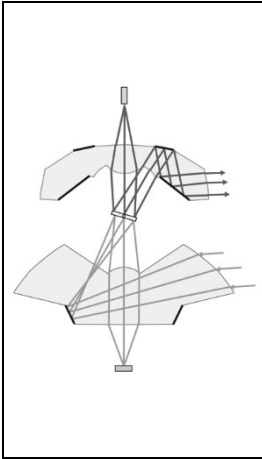


ディープラーニングによる ゴーストイメージングの高速化

大阪大学 大学院工学研究科 機械工学専攻
水谷康弘, 高谷裕浩



1. はじめに

最近、シングルピクセルイメージング (Single Pixel Imaging: SPI) という空間分解能を持たない、例えば、フォトダイオードのような点型光検出器でイメージングを行う研究が多数報告されている。空間分解能を有しない検出器を用いるため、照明光などに空間的な分布を付与することでイメージの空間情報を取得する。すなわち、検出した光強度と照明光分布とをなんらかの計算を行うことでイメージを再構成するのである。点型検出器を用いることができるため装置を小型化できることや、2次元検出器がそもそもないような波長帯¹⁾や2次元分光イメージング²⁾に用いたり、さらに、微弱な光の検出に向いている³⁾という特徴もある。当初は、照明光強度分布を生成するために、スペックルパターンなどパッシブな方法を用いていたが⁴⁾、近年のプロジェクト等の2次元デバイスの進展によりアクティブに光強度分布を制御できるようになり応用が広がったこともSPIの研究が盛んになった理由である⁵⁾。

SPIは、イメージの再構成方法により、解析的に求めるコンプレッシブセンシング (Compressive Sensing: CS) と相関演算から求めるゴーストイメージング (Ghost Imaging: GI) に分類される。そもそも、ある照明光分布に対する検出光強度は1:1の対応であることから、イメージングしたい画素数分だけ異なるパターンを照明し直交変換を用いて逆行列を解けば点型光検出器によるイメージングは可能である⁶⁾。しかしながら、画素数分の照明を行うのは非常に非効率である。そこで、データのスパース性に着目し効率よく解析的にデータを取得できるようにした方法がCSである⁶⁾。一方で、ランダムなパターンの光強度分布を有する光を照明し、そのパターンと検出光強度との相関を計算し相関値分布としてイメージを取得するのがGIである^{7,8)}。相関に関係のないノイズなどが自動的に除去できることから、微弱な光によるイメージングが可能である。しかしながら、空間的に帰無仮説を満たすように照明する必要があるため照明回数は画素数とともに増加してしまい測定に時間を要するという問題点がある。著者らは、微弱な光検出が可能であるという点に着目してGIに関する研究を進めているが、最近、Deep Learningと組み合わせることでGIの測定時間の短縮を試みているので、GIの基本的な特徴と共に本稿で概説する。

2. ゴーストイメージングの測定原理と特徴

GIは、1995年にPittmanらにより量子光学の実証実験に用いられたことに端を発している^{6,7)}。量子もつれは、非線形結晶によるダウンコンバージョンによりえられる光子のペアであり、光子の情報をお互いに共有しているというユニークな特徴がある。したがって、一方の光子をイメージングしたい対象物に照明し、他方の光子をもつれ光の空間的な分布を取得するために用いれば、それらの相関を計算するだけでイメージを取得できるのである。その後、回折像を取得したり⁹⁾、スペックルパターンでもイメージが取得できることが証明された¹⁾。さらに、2008年に、Shapiroにより、伝搬計算から求めた光強度分布でもイメージングできることが報告されると¹⁰⁾、わざわざ照明パターンを取得する必要がなくなり簡便な光学系が構築できることから報告例が増加した。なお、この変遷において、Physical