

深層学習を用いたホログラム計算

千葉大学 大学院工学研究院 電気電子工学コース
下馬場朋禄, 王帆, 聖徳壯登, 伊藤智義

1. はじめに

ホログラフィ¹⁾は光波の3次元情報を2次元のホログラム画像に記録し、ホログラムから3次元情報を再生できる。この物理過程をコンピュータでシミュレーションすることで、ホログラムを計算機上で生成できる。このホログラムを spatial light modulator (SLM) に表示すれば3次元像を空間に再現できる。ホログラフィックディスプレイは3次元物体の波面を忠実に再現できるため理想的な3次元ディスプレイなり得る²⁾。

この技術の解決すべき課題に以下が挙げられる。

- ホログラム計算や回折計算にかかる時間、ホログラムのデータ量
- ホログラムからの再生像の画質

ホログラム計算の計算時間は3次元物体の複雑さとホログラムの解像度に比例して増加する。ホログラムからの再生像の画質もホログラフィックディスプレイの大きな問題となる。ホログラフィックディスプレイでは、SLMの画素構造による高次回折光、SLMの非線形な光変調、光学系のアライメント精度や収差の影響により再生像が劣化する。ホログラムのデータ量も大きな問題である。特に、リアルタイムでのホログラム伝送や広視域ホログラフィックディスプレイでは大きな空間帯域幅積のホログラムが要求されるため、データ圧縮は重要である。既存のJPEGやJPEG2000などを用いたホログラムデータ圧縮や独自の圧縮コーディングの研究がなされている³⁾。

これまでの多くの研究は、ホログラフィの物理現象（光の回折や干渉）や信号処理に基づき、これらの問題を解決するためのアルゴリズムが開発されてきた。本論文では、これらのアルゴリズムを物理ベース計算と呼ぶ。一方で、2012年に物体の認識率を競う競技会 ILSVRC (ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge) で、deep-learning を使用した AlexNet が従来手法に比べ10%以上の識別率の向上を達成し、これを契機に深層学習が大きな注目を集めた。ホログラフィの分野では、少し遅れて2017年頃から深層学習を使用した研究が増え始めた。当初は、ホログラムの識別問題やホログラフィック再生像の修復^{4,5,6)}など簡単な問題を扱っていた。現在ではより複雑な深層学習ベースのアルゴリズムが考案され、物理ベース計算を凌駕する結果が多く報告されている。

ここでは深層学習を用いた代表的なホログラム計算を紹介する。物理ベース計算と深層学習の関係について筆者の個人的な見解についても述べる。

2. 深層学習を用いたホログラム計算

ホログラム計算は、3次元ディスプレイ、プロジェクション、ビーム生成、レーザ加工など多くのアプリケーションを持つ。この節では、ホログラフィックディスプレイ用途のホログラム計算を中心に述べる。

ホログラフィックディスプレイの映像処理パイプラインを図1に示す。3次元データをCGや3次元カメラで取得する。この3次元データから光波がどのようにホログラム面上に分布するかを回折理