

空間光位相変調器(LCOS-SLM)によるビーム振幅の変調に関する研究

Beam amplitude modulation based on LCOS-SLM (optical phase modulator)

施 闊 (Shi Kuo)

E-mail: d2210010@photon.chitose.ac.jp

The design of freeform phase diffractive optical elements is a challenging task, typically necessitating the use of complex differential equations or a large number of iterative calculations. In this study, we devised a method for the design of continuous phase-only holographic masks that map laser light to arbitrary target illumination patterns, which have a wide range of applications. In this approach, the ray mapping problem is converted into a linear programming problem or a quadratic assignment problem, which is then solved by the Hungarian algorithm and the overall comparison optimization (OCO) method.

空間光変調器(SLM)は、画像などの2次元または3次元の光学情報を動的かつリアルタイムに処理できるデバイスである。SLMを用いると読み出し光位相・偏波面・振幅・強度・伝播方向に変調を与えることができる。LCOS (Liquid crystal on silicon)-SLMを用いてビームの強度分布を制御する設計は非イメージング光学系の逆問題である。カスタマイズされた振幅分布を持つビームの発生は様々な応用において重要な意義がある。例えば、レーザービームの変換、フォーカス、拡張現実システムおよびホログラム表示における複雑な画像の形成、構造化照明、光トラップ、顕微鏡などの分野に広く応用できると考えられる。多くの場合、このような問題は二次非線形楕円偏微分方程式の解を探すことに帰着できる。一般的に、光学設計におけるこのような逆問題は様々な数値解析の反復法で解決される。2013年にWuらは反復法を用いてモンジュ・アンペール方程式を解き、DOEを設計して所望の振幅分布のビームの発生を実現した。このような反復法を用いてモンジュ・アンペール方程式を解く方法の一般的な欠点の一つは、非線形方程式を解く計算の複雑度が高く、反復初期値の選択が方程式の解の成否に影響し、初期値の選択が不適切であると収束解が得られないことである。そのため、非イメージング光学の逆問題を解決するための別の方法も模索されている。

本研究では、光線マッピング計算の問題を最適分配の問題に変換する位相MASKの設計方法を提案した。これにより、純粋な位相ホログラムを用いてビームの振幅分布を制御するという目的が達成された。得られたマスクは拡大して使用しても良好な回折効果が得られることがわかった。マスクの段階的に滑らかな性質を実証した。実際に得られる回折自由曲面は3次元的に連続した曲面である。これは加工、成形、製造に非常に便利である。我々はこの方法を用いて、平行光束を均一な光強度分布を持つ矩形パターンや「CIST」と

いう文字、不均一な光強度分布を持つポートレートに変換できる 3 種類の位相マスクを設計した。図 1 の上の画像には設計した位相マスクのパターンを示して、下はシミュレーションされた強度分布である。マスクの回折についての数値シミュレーションした結果である。平行ビームを目標の照明に変換することに成功したことがわかる。実験で記録した回折光強度分布は Fig. 2 に示すように、数値シミュレーション結果と高い一致性を示していることが分かる。Hungarian アルゴリズムで解くには、 $n \times n$ 次元のコスト行列の構築と処理が必要で、 n は解くべき位相平面のサイズである。言い換えると、 100×100 の位相平面を解くには、 $10,000 \times 10,000$ のコスト行列を構築して処理する必要があり、データサイズが大きくなると、アルゴリズムが処理できなくなる可能性がある。データサイズが大きくなると、アルゴリズムはより大きな行列を効率的に扱えなくなり、収束時間が長くなったり、計算不能になったりする可能性がある。これらの問題を解決するために、我々は OCO 法を提案した。OCO 法は同じ画像に対してより優れた処理能力を示していることが明らかになってきた。今後の予定は、今の波前制御の研究をもとに光ピンセット、あるいは orbital angular momentum (OAM)-based optical communications の研究を行うことである。

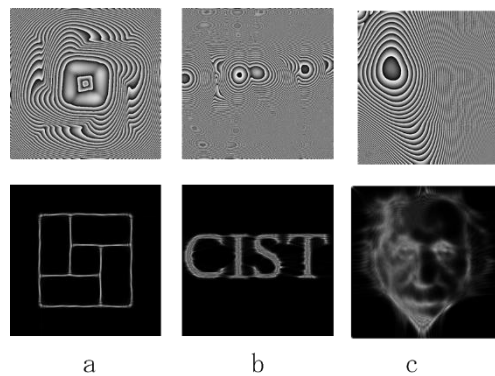


Fig.1 Phase masks computed by the algorithms and diffraction simulations for solving uniform illumination patterns: (a) Rectangular, (b) Characters of “CIST”, and (c) Portraits

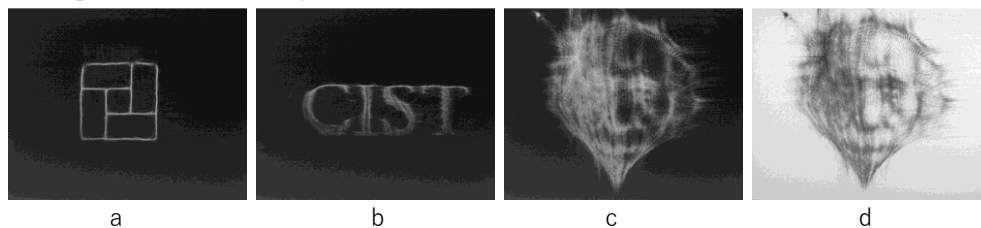


Fig.2 Experimentally obtained diffraction patterns of phase-only holographic masks.