

【助成 41-27】

デジタルホログラフィック顕微鏡による
液晶オンシリコン空間光変調器のサブピクセル応答評価

研究者 青山学院大学理工学部 助教 前田 智弘

〔研究の概要〕

液晶オンシリコン空間光変調器(LCOS-SLM)は、3D ディスプレイや光通信などに広く活用されているが、画素の微細化に伴う近傍画素間のクロストークが変調精度に影響を及ぼすことが課題となっている。本研究では、LCOS-SLM の変調歪を高精度に評価し、クロストーク補正のための新規キャリブレーション手法の基礎を確立することを目的とした。デジタルホログラフィック顕微鏡を用いて、サブピクセルオーダーの応答を測定し、単一画素および複数画素からの影響を解析した。その結果、近傍画素の影響による変調歪の範囲と特性を明らかにし、信号レベルの強調による補正の有効性を確認した。本研究の成果は、LCOS-SLM の精度向上に貢献し、今後の光波制御技術の発展に寄与するものである。

〔研究経過および成果〕

LCOS-SLM(以下、SLM)の位相応答を評価するために用いた実験系を図1に示す。SLMはSantec製のSLM-200(画素ピッチ $8\mu\text{m}$ 、解像度 1920×1080)を用いた。SLMの液晶面とCMOSカメラの撮像面を顕微鏡系で結像し、ビームスプリッタ(BS)を用いて波長 532 nm のCWレーザ光をSLMに照射した。BSの透過光はミラーで反射させ、参照光として物体光と干渉させた。このとき、物体光と参照光の光軸間には4度程度の傾きを与えておき、CMOSカメラで軸外デジタルホログラムを取得した。得られたホログラムをフーリエ変換法によって解析することで、物体光の位相分布を取得した。ここで、照射するレーザ光の偏光方位はSLMの液晶分子の配向と一致するように偏光子を用いて調整した。また、顕微鏡系の倍率は55.6倍のため、 $8\mu\text{m}$ 角のSLM画素は撮像面上で $44.4\mu\text{m}$ 角に拡大される。これは、CMOSカメラの128.8画素に対応する。

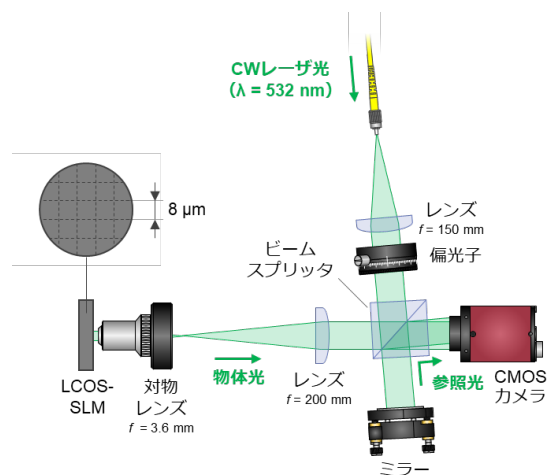


図1 実験系

まず、撮像領域中央に位置するSLM画素のみに対して、入力信号レベルを0から1023の範囲で変化させながら位相分布を観察した。ここで、入力信号レベルとは、SLMに与える信号の階調値である。使用したSLM-200は10 bit 階調のため、入力信号レベルは $[0, 1023]$ の範囲を取る。本実験では1023の信号レベルが波長 532 nm の光波に対する 2π の位相変調に対応するように付属GUIを用いて設定した。図2に入

力信号レベルが 0, 255, 511, 767, 1023 のときに得られた位相分布を示す。中心画素付近の位相は入力信号レベルに比例して変化しているが、 2π の位相変調に相当する信号を与えた場合でも、最大位相変調量は 1.25π 程度にとどまった。さらに、近接する画素の領域の位相も変化しており、変調が近傍画素に与える影響を確認できた。なお、図を見ると、位相変調が生じている領域の中心が画素の中心からわずかに左にずれているが、これは顕微鏡系の光軸がわずかに傾いており液晶面にレーザー光が垂直入射していなかったためと考えられる。

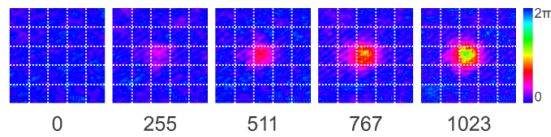


図2 中心画素に与える信号レベルを変えた結果

次に、撮像領域中央の 3×3 の画素に対して与えるパターンを変化させて位相分布を観察した。各パターンに対して得られた位相分布を図3に示す。図3(c)や図3(e)のパターンのように、近傍画素と信号レベルが同じときは、中心画素の位相変調量はほぼ 2π となった。一方で、図3(d)のパターンでは、中心画素に与えている信号は0であるにもかかわらず、周囲の画素の影響により約 0.8π の位相変調を受けたことも確認できる。以上より、近接する画素間で与えた信号レベルの差が大きいほど、実際に光波に与えられる位相分布は設定した値から乖離することがわかった。

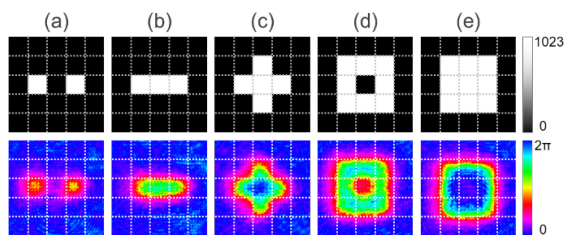


図3 パターンごとの位相分布
上段：与えた信号、下段：得られた位相分布

図3の結果から、近傍画素との信号の差が大きい場合に位相変調歪は大きく現れるため、与える信号の差を強調することで所望の位相変調量に近づけることができると考えられる。そこで、最後に、信号レベル差の強調による補正効果を確認した結果を図4に示す。いずれのパターンについても、補正前は中心画素には 0.4π 程度の位相変調が与えられていたが、中心画素の信号レベルに-512の補正を与えることで、位相値は図4(a)のパターンでは約 -0.5π 、図4(b)のパターンでは約 -0.3π となった。

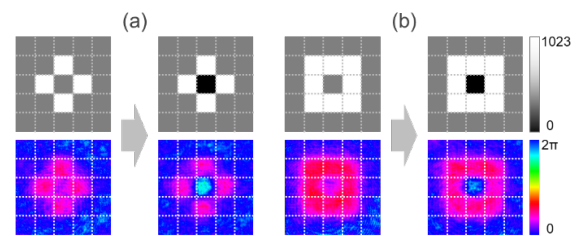


図4 信号レベルの差を強調した結果

以上の結果より、近接画素の信号レベルが位相変調に与える影響、および入力信号レベルの強調によって位相変調歪の補正が可能であることが確認できた。なお、位相変調歪の補正を 2π のフルスケールで実現するためにはSLMの位相変調レンジが 2π では不足となるが、SLM-200は波長532nmの光波に対する位相変調のレンジを 4π 程度まで拡張することが可能なため、補正のためのマージンを設けることは十分に可能である。

最後に、本研究を遂行するにあたり、ご助力をいただきました貴財団に深く感謝申し上げます。

〔発表論文〕

1. 姜 遠昊, 前田 智弘, 外林 秀之, “LCOS-SLMのサブピクセル位相応答測定,” 2024年電子情報通信学会 総合大会, C-3_4-02, 東広島, 2024年3月.