

空間光変調器による光波の制御および光波回折積分の数値計算

Wave front control with SLM and simulation of light wave diffraction

千歳科技大 ○(M2) 張 曼, 唐澤 直樹, 川辺 豊, 張 公儉*

Chitose Institute of Science & Technology, ○Zhang Man, Naoki Karasawa, Yutaka Kawabe, Zhang Gongjian*

*E-mail: zhang@photon.chitose.ac.jp

近年、微細加工の技術の発達により液晶空間光変調器 (SLM) のようなデバイスにより光波の波長に近いレベルで光波面を変調あるいは観測することを可能になっている。その結果、任意の光波をデジタル的に発生したり、位相情報を観測したり、コンピューター合成ホログラムを利用して実現できるように光波デジタル信号処理することが可能な時代になりつつなる。このような光波信号処理においては光波の伝播回折計算が不可欠になる。また、SLM 位相素子に対しては精密な位相ひずみの補正が重要である。本研究では渦光波のラゲールガウスビームの発生について実験を行う。素子位相ひずみの測定と位相回復では光波干渉法により得た一枚の干渉パターン(渦のある、あるいは閉じた干渉縞にも有効)を用い、非線形回帰解析(RQPT)の手法で精度よくひずみ位相の回復を実現した。Fig.1(左)には位相ひずみの補正実験のプロセスについて、一部の結果を示している。



Fig.1 (Left) Analytical and experimental results of phase compensation process. the phase retrieval from RQPT method, confirmation of phase (Interferogram with vortex or closed fringes) unwrapping. (pattern of closed fringes is that of SLM's phase distortion); (Right) Results of diffraction simulation. (from left, angular spectrum, Fresnel transformation, diffraction mask)

直交座標系でのフレネル回折積分公式は $U(x, y) = \frac{e^{jkz}}{j\lambda z} \int \int_{-\infty}^{\infty} U_0(x_0, y_0) \exp\left\{\frac{jk}{2z} [(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2]\right\} dx_0 dy_0$ で、定常位相法⁽¹⁾により、そのフーリエ変換の表現、いわゆるフレネル変換と逆変換は次のようになる。

$$F\{U(x, y, z)\} = F\{U(x_0, y_0)\} F\left\{\frac{\exp(jkz)}{j\lambda z} \exp\left[\frac{jk}{2z}(x^2 + y^2)\right]\right\} = F\{U(x_0, y_0)\} \exp\left\{jkz\left[1 - \frac{\lambda^2}{2}(f_x^2 + f_y^2)\right]\right\}$$

$$F\{U(x_0, y_0, z)\} = F\{U(x, y)\} \exp\left\{-jkz\left[1 - \frac{\lambda^2}{2}(f_x^2 + f_y^2)\right]\right\} = F\{U(x, y)\} F\left\{\frac{\exp(-jkz)}{-j\lambda z} \exp\left[-\frac{jk}{2z}(x^2 + y^2)\right]\right\}$$

研究では Rayleigh-Sommerfeld 積分を高速に計算する角スペクトル法及びフレネル変換法に基づき、観測面での光波回折伝搬を計算する手法を用い、光波制御の例として、同時にバイナリー変調と位相変調方式によるラゲールガウスビームの発生についてシミュレーションを行った。Fig.1(右)には回折計算の結果を示している。FFT 法による回折計算を行う際に、伝搬距離 z の大きい場合エイリアシング誤差が生じる。この時、最大の周波数帯域は $f = (\cos\alpha)/\lambda = (S+w)[z^2 + (S+w)^2]^{-1/2}\lambda^{-1}$ で見積もることができる。S と w はそれぞれ有効回折開口の幅と観測スクリンの端から回折開口端までの距離である。実験では位相変調型の SLM によるバイナリー型および位相型のキノフォームを用い、渦光波の発生について理論解析と実験観測の結果を考察した。

本研究に使用した実験結果の解析方法は、SLM を用いた光スイッチング素子のシミュレーション、回折光学素子としてのビーム整形素子の設計、整形実験、デジタルホログラフィによる撮像と再生、コンピューターホログラムによる 3 次元画像の生成等において効率的な解析方法であることが分かった。

参考文献:

[1] Li Jun-chang, J. Kunming Univ. Sci. & Tech., p.221, Vol.29, No.14, 2004. (in chinese).