

ディジタルフレネルホログラフィにおける高分解像再生法と適用限界 (2)

Theoretical analysis of limitations of the double Fresnel-transform algorithm (2)

長津 和也, 吉澤 千裕, ○ 原田 康浩 (北見工大)

Kazuya Nagatsu¹, Chihiro Yoshizawa¹, ○ Yasuhiro Harada¹ (Kitami Institute of Technology)

E-mail: harada@mail.kitami-it.ac.jp

1 はじめに

フレネルディジタルホログラムからの高分解像再生計算法に double Fresnel-transform (DBFT) 法がある [1] が, それには適用限界があることを我々は明らかにした [2]. 本研究では, さらに研究を進め, 想定する中間面の位置がホログラム面と像面とを内分する場合と外分する場合に対する DBFT 法の適用限界を理論的に導出して, どちらが高分解像を得るのに有利かを明らかにした.

2 理論と実験実証

図 1 は DBFT 法によりフレネルホログラムからの像再生過程を説明する 1 次元の模式図である. ホログラム面にあるデータ間隔 p_H , データ点数 N のフレネルホログラムより, 距離 z だけ離れた面で像を得る. DBFT 法ではホログラム面と像面の間に中間面 (距離 z_1) を設け, そこまで 1 回のフーリエ変換により中間像を作った後 (Step 1), そこから像面まで (距離 $z_2 = z - z_1$) までもう一度 1 回のフーリエ変換により最終像を得る (Step 2). その再生像のデータ間隔 Δx_2 はホログラム記録時の波長を λ とすると, $\Delta x_2 = |z_2/z_1| p_H$ となり, z_1 と z_2 の選択によって自在に設定でき, 1 回のフーリエ変換で得られる像よりも細かな間隔の像を生成できる.

しかし, Step 1 および Step 2 で 1 回のフーリエ変換を用いた像再生法を用いていることから, そこでの数値計算でエリヤジグ誤差が生じないためには z_1 と z_2 は次の条件を満足しなければならない.

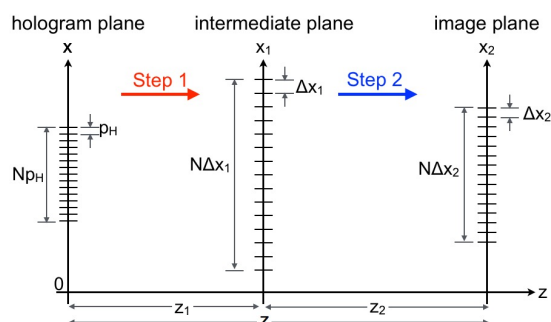


図 1: DBFT 法の再生過程の模式図.

$$z_1 \geq z_{c1} \equiv p_H^2 N / \lambda, \quad z_2 \geq z_{c2} \equiv \Delta x_1^2 N / \lambda \quad (1)$$

これより, エリヤジグ誤差の無い再生像はデータ間隔比 $m \equiv \Delta x_2 / p_H = |z_2 / z_1|$ が次式を満足する距離関係で計算した場合に限られるという事実が導かれる.

$$\frac{\mp 1 + \sqrt{1 + 4k}}{2} \leq m \leq k \mp 1, \quad (k = \lambda z / N p_H^2) \quad (2)$$

ここで復号 $\mp$ はそれぞれ中間面が内分する位置の場合 (-) と外分する場合 (+) に対応する. また $k = \lambda z / N p_H^2$ はホログラム面から像面までの回折計算を 1 回のフーリエ変換で得た場合の再生像のデータ間隔比 $\Delta x_2 / p_H$ を表す. 式 (2) の下限値が達成可能な再生像のもっとも小さいデータ間隔であることから, より高分解像な像が得られるのは中間面を二つの面を内分する位置に設置した場合であることが分かる. すなわち, 中間面を内分する位置とした場合が高詳細再生像を得るには有利である.

図 2 は, それぞれ式 (2) の下限の条件を満足しない場合のテストチャートの再生像 ($m = 0.8$) であり, (a) が中間面が内分する位置の場合, (b) が外分する位置の場合の結果である. どちらも縦横の周期的な縞模様がノイズとして再生像に重畳するが, (b) の中間面が外分する位置の結果の方がノイズの影響が強く現れる.

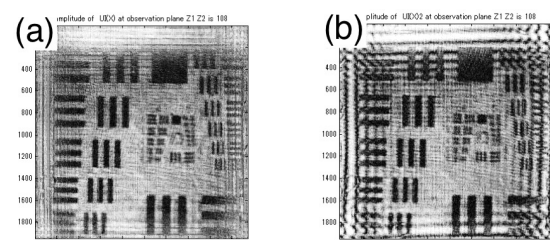


図 2: 実験検証例の再生像 ($m = 0.8$): 中間面位置が (a) 内分する位置の場合, (b) 外分する位置の場合.

参考文献

- [1] F. Zhang, I. Yamaguchi, and I.P. Yaroslavsky, Opt. Lett. **29**(14), 1668–1670 (2004).
- [2] 長津 和也, 他: 第 63 回応用物理学会春季学術講演会 講演予稿集 22a-P3-7 (2016), p.03-655.