

デジタル合成ホログラム描画用フリンジプリンタ

A Fringe Printer for Fabricating Digitally Synthetic Holograms

宮内 宏之 栗林 佑宇真 山中 俊介 松島 恭治

Hiroyuki Miyuchi Yuma Kuribayashi Syunsuke Yamanaka Kyoji Matsushima

関西大学 工学部 先端情報電気工学科

Department of Electrical Engineering and Computer Science, Kansai University

ABSTRACT A special-purpose direct fringe printer is constructed for fabricating digitally synthetic holograms. This printer is capable of drawing fringe pattern exceeding 17000 dpi in resolution, which is numerically synthesized and have continuous gray levels. The time is less than an hour for drawing a hologram with dimension of 1 cm². The mechanism, structure and improvement of the constructed printer are reported. Furthermore, a future plan for reducing the drawing-time is presented.

Keywords: デジタル合成ホログラム, 計算機合成ホログラム, CGH, フリンジプリンタ

1. はじめに

デジタル合成ホログラムは、計算機内に保持した物体モデル情報から物体光を数値合成し、ホログラムとして立体画像を作成するものである。そのため、実在しない物体のホログラムを合成できるという利点がある。しかしその反面、数値合成に要する莫大な計算量と超高解像度の表示デバイスの必要性が研究開発の大きな障害となっている。

我々は、主に物体光波合成アルゴリズムの検証を目的として、ホログラム乾板上に解像度約 12,700dpi, 最大描画線速度 20mm/s でマルチレベルの濃度階調を持つ干渉縞を製作し、描画できる第1世代のフリンジプリンタをすでに報告している[1]。このプリンタでは、レーザー光を回折限界近くまで集光し、そのビームウェストに応じたサイズのドットを一点ずつ描画している。この手法は、液晶に表示

したパターンを縮小光学系により転写する方法[2]に比べて描画速度は遅いものの、高い解像度が得られるという利点がある。しかし、この既報のプリンタには制御系の応答速度が不十分であることやフォーカス制御を行っていない問題点があった。

そこで本報告では、制御系の改良による描画線速度の向上、サブミクロン高低差マッピングとフォーカス制御、さらに対物レンズの高NA化により、解像度の向上と安定性の向上を行った第1.5世代プリンタ、またさらにドラム構造を導入することにより大幅な描画速度の向上を目指した第2世代プリンタの開発状況について述べる。

2. フリンジプリンタの原理

1~1.5世代のプリンタで採用された構造をFig.1に示す。本プリンタはレーザダイオードのパルス出力光をプリズムの表面反射によって減衰させ、対物レンズでX-Yステージ上のホログラム乾板表面に集光して1パルスにつき1ドットを描画し、ステージを移動しながらこれを繰り返すことにより、フリンジパターンを形成する。このプリンタで描いたホロ

宮内 宏之

<miyauchi@laser.ee.kansai-u.ac.jp>

関西大学工学部先端情報電気工学科

〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35

TEL06-0368-1121(内線 5722)

グラム再生像の例を Fig.2 に示す. この第 1 世代プリンタの問題点として, 対物レンズとホログラム乾板表面との距離を描画中に動的に変位する機構がなく, これ以上 N.A. を増加して高精細化することが困難であり, また描画の安定性にも欠けることがあげられる.

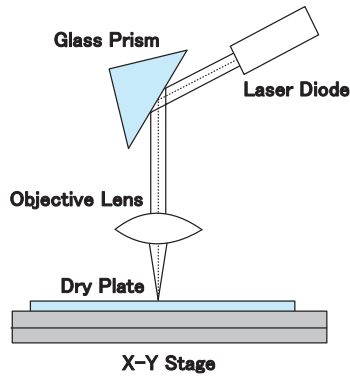


Fig.1 Schematic structure of the constructed printer.

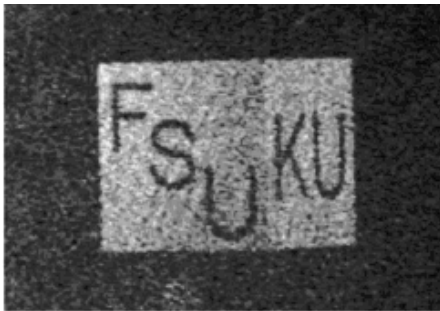


Fig.2 An example of optical reconstruction of a hologram printed by the old model[3].

3. 第 1.5 世代プリンタ

第 1.5 世代プリンタでは, まず描画時間の短縮において問題となっていた制御系の応答速度を改良し, これにより最大描画線速度を 20mm/s から 40mm/s 以上に向上することにより描画時間の短縮を図った. また対物レンズを高 N.A. 化し, それに伴う焦点深度の減少を補うため Fig. 3 に示すフォーカス制御光学系を追加した. フォーカス制御光学系は, 長作動距離対物レンズとピエゾポジショナ, モータステージ, 接触式変位センサから成る. 本研究で用いるホログラム乾板は感光性があるため光学式の変位検出ができない. そのため分解能 $0.2\mu\text{m}$ の差動トランス式変位センサを

用い, 乾板表面に接触式変位センサを検出する. 対物レンズにより分解能約 10nm で可能であり, フォーカス制御ステージにより上げられている.

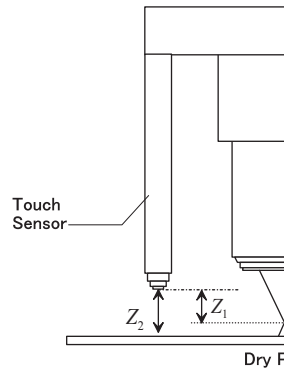


Fig.3 The schematic of the model.

本プリンタでは, 描画により変位センサを乾板表面から基準位置の変位センサまでの距離 Z_2 を測定する. 次にサブミクロンオーダーのピエゾポジショナを用いてフォーカス制御を行う. 次に対物レンズに基づき基準位置から焦点までの距離 Z_1 をピエゾポジショナを制御してフォーカス制御により, 乾板の表面との間の塵埃等によるフォーカス制御により, 対物レンズの分解能を 0.4 から 0.55 に変更し

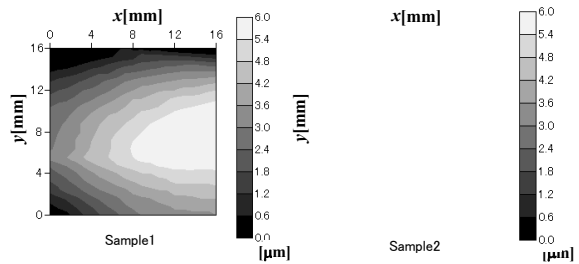


Fig.4 Contour maps of the surfaces of two dry-plates.

低差
ヨナ
位が
がモ
なっ

ge
tioner
re

new

ージ
、ま
面ま
返し
差マ
グデ
先端
る様
オー
ージ
とビ
深度
オー
来の
が可



Fig.5 The microphotograph of drawing dots.

能となった。

Fig.4 に本システムを用いた乾板表面の高低差測定結果を示す。試料 1, 2 ともにホログラム乾板 PFG-03C の実測結果であり、同一パッケージ内の異なった乾板を測定したものである。最大高低差は、試料 1 では $7.3\mu\text{m}$ 、試料 2 では $6.2\mu\text{m}$ に達しており、用いた対物レンズの焦点深度 $1.05\mu\text{m}$ を超えているため、対物レンズの変位が必要であることがわかる。

第 1.5 世代フリンジプリンタの描画ドットを Fig.5 に示す。この結果から最小ドット径は水平方向約 $1.5\mu\text{m}$ 、垂直方向約 $3\mu\text{m}$ 以下であり、解像度は第 1 世代プリンタの 12,700dpi から約 17,000dpi に向上したことがわかる。これにより、視域角約 24° のホログラム干渉縞を描画できる。さらにフォーカス制御によって広い範囲にわたって最小ドット系を安定して維持することが可能となり Fig.6 の様に鮮明なテストパターンの描画、及び Fig.7 のホログラムの光学再生像を確認することができた。

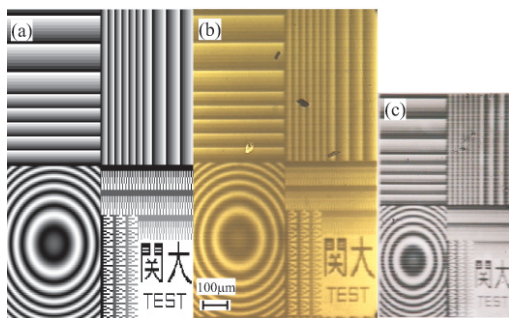


Fig.6 Printed test patterns through a microscope: the original image (a), the printed image by the old model (b) and the new model (c).

4. フリンジプリンタの高速化

第 1.5 世代プリンタでは制御系の改良により描画速度の短縮を行った。しかし本プリンタで用いている X-Y ステージはリニアステージであり、台形駆動を行なっているため 1 ラ

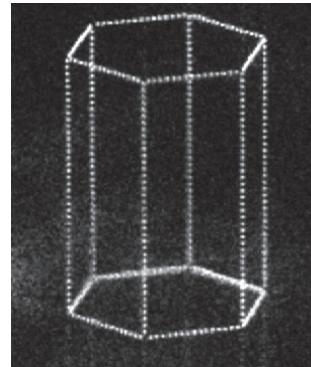


Fig.7 An example of optical reconstruction of a hologram printed by the new model.

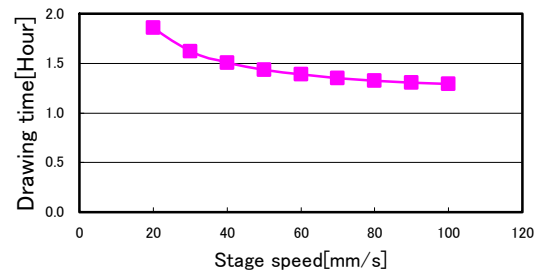


Fig.8 The estimated drawing-time.

イン描画するごとに加速・減速が必要である。12.3[mm]角のホログラム(8192×4096 ピクセル)を描画する場合について考えると、ステージ移動線速度 20[mm/s]、ステージ加速度 100[mm/s]対して、加減速区間 2.1[mm]として描画すると仮定すると、X 軸方向に 1 ライン走査するのに要する時間は約 1 秒となる。したがってホログラムすべてのラインを描画するのに必要な時間は 1 時間 10 分程度と見積もられるが、実際の描画には 2 時間 30 分程度必要である。

これは、ステージ移動方向切り替えなどステージコントローラユニットと制御コンピュータの通信において生じるオーバーヘッドが大きいためであると考えられる。またステージの移動速度を上げようとする、それに伴って加減速に必要な時間が増加し、全体としての描画時間の短縮ができないことも大きな問題である。12.3[mm]角のホログラムを描画する場合について、ステージ移動速度と描画

時間の関係の推定を行なった結果を Fig.8 に示す.

この結果からステージの移動速度を上昇させていっても描画時間はさほど短縮しないことがわかる. また加減速時間短縮のため加速度を増加することもステージの機械的な限界のため困難になることが予想される.

5. 第2世代プリンタ

第1.5世代プリンタを用いて現実的な時間で描画可能な12.3[mm]角程度のホログラムでは, 実用的なサイズとはいえず, 医療・デザインなどの分野で実際的な用途に用いるためには描画速度が不十分である. 第1.5世代プリンタを用いて50[mm]角のホログラムを描画した場合, その描画時間は約20時間程度必要であり, これも実用的とはいえない. そのため描画時間の短縮が必要となるが, 4節で述べたような問題点から現状のプリンタの構造では描画時間を短縮することは困難である. そこで第2世代プリンタでは描画時間の短縮を第一の目標として, 従来とは全く異なった機構を導入する.

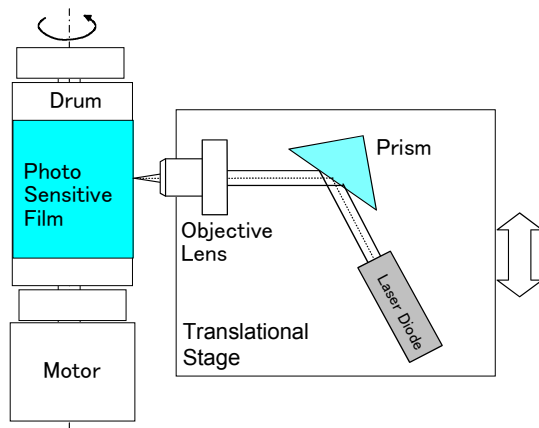


Fig.9 Schematic structure of the 2nd generation.

Fig.9 に第2世代プリンタの構想図を示す. このプリンタでは50[mm]角のホログラムを1時間程度で描画することを目標としている. この仕様を満たすため, 第2世代プリンタでは, X-Y ステージをドラムに換え, それをモータで回転することによりドラム表面に貼り付けたフィルムにラインの描画を行なう. こ

れにより往復運動する従来のプリンタで生じる加減速時間が不要になる. また描画速度は回転数に比例し, ステージを往復運動させるために必要であった制御コンピュータとステージコントローラ間の通信が不要となるため, さらなる高速化が見込める. 光学系に関しては第1.5世代プリンタのものと基本的に同等のものであるが, この第2世代プリンタでは, 渦電流センサを用いてフォーカス制御を行い安定なドットの描画が可能となる予定である.

6. まとめ

第1世代プリンタを改良した第1.5世代プリンタを報告した. また次のステップとして, 構造を変え, 描画時間の大幅な短縮を図った第2世代プリンタの状況について述べた. これらの各世代のプリンタの性能を Table 1 にまとめる.

Table1 Summary of the each printer.

	1st	1.5th	2nd
Dot size [μm^2]	2×4	1.5×3	1.5×3
Resolution [dpi]	12,500	17,000	17,000
Scan speed [mm/s]	20	40	200~
N.A	0.4	0.55	0.55
Viewing Angle [deg]	18	24	24

謝辞

本研究は日本学術振興会の科研費(15300025)の助成を得た. 本プリンタの製作を協力していただいた関西大学学部生の山子氏に感謝します.

参考文献

- [1] 松島, 上甲: 「計算機合成ディスプレイホログラム用高解像度プリンタ」, 映情学誌, **56**, 1989(2002).
- [2] H. Yoshikawa, K. Takei: “Development compact direct fringe printer for computer-generated holograms”, SPIE Proc. **#5290**, (2004) in press.
- [3] K. Matsushima, H. Schimmel, F. Wyrowski: “New Creation Algorithm for Digitally Synthesized Holograms in Surface Model by Diffraction from Tilted Planes”, SPIE Proc. **#4659**, 53-60(2002).