

フリンジプリンタ制御プログラムの高速化

Accelerated fringe printer control program

高梨 友哉^{1*}, 山口 健^{2†}, 吉川 浩²
Takanashi Tomoya¹, Takeshi Yamaguchi², Hiroshi Yoshikawa²

Abstract: Our laboratory develops fringe printer as a method of outputting computer generated holograms. In the conventional control method, it took more output time than necessary. In this research, addition of judgment processing and change of control method are performed to shorten output time.

1. まえがき

当研究室では計算機合成ホログラム（以下 CGH）を比較的安価で手軽に出力する方法としてフリンジプリンタの研究が行われており^[1] 高精細化に伴い出力時間は現在増えてきている^[2]。フリンジプリンタは 1 枚の CGH を分割し、露光することにより高解像度なホログラムの出力を行う。このとき、各要素は干渉縞の有無に関わらず露光を行っている。そのため、オブジェクトの周り以外に干渉縞の無いレインボウホログラム（以下 CGRH）などのホログラムを出力する際に必要以上に出力時間がかかっている。

そこで本研究では新たに干渉縞判定処理の追加を行い、それに伴い制御フローを変更することにより CGRH の出力時間の高速化を図る。

2. 原理・方法

2. 1. CGRH について

CGH ではオブジェクトを細かな点の集合体とし、各点からの物体光と参照光との干渉縞を計算している。CGRH のようにオブジェクトがホログラム面にあるとき、参照光との回折角が大きくなり出力できないために、各点での可能な計算領域で干渉縞を計算している。このとき、物体がホログラムに近づく程に計算領域は小さくなり、ホログラム面の端やオブジェクトの端では干渉縞が計算できなくなり、フリンジプリンタでは干渉縞のない要素となる。

2. 2. フリンジプリンタの光学系

現在のフリンジプリンタの光学系を Fig. 1 に示す。^[2] 音響光学光変調器（AOM）シャッタを使用し、空間変調器として LCoS を用いている。LCoS から直接記録すると干渉縞の周期が長く十分な回折角を得ることができないので、L2, L3 レンズを用いて縮小させ、記録を行う。また、撮影の際に、LCoS に表示できる大きさに CGH 分割をし露光を行うことで高解像度のホログラムの出力を行っている。

2. 3. 制御プログラムの概要

制御プログラムは 3 つのソフトから構成されている。撮影者が操作し一連の流れを制御するソフトとステージを制御するものと干渉縞を表示させるソフトに分けられ

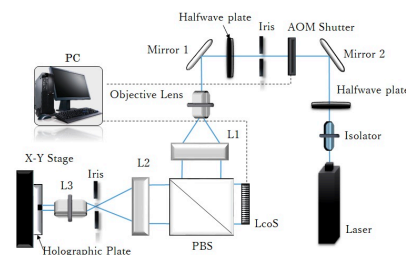


Figure 1 Fringe printer optical system

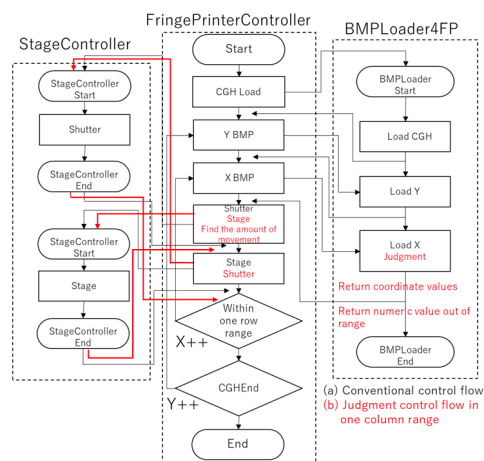


Figure 2 Control flow

る。

現状プログラムのフローチャートを Fig. 2 の (a) に示す。(a) では 1 要素分の BMP を表示させ、露光処理をし、ステージ移動を行うように制御を行っている。

2. 4. 露光処理の短縮

1 要素の出力にかかる時間は読み込み、表示、通信、セトリング、露光、移動に分けることができる。その中で、撮影者が入力し、半数以上を要するセトリングと露光時間を干渉縞が無い場合に短縮できれば高速化が行えると考えられる。

本研究では、BMP を表示させる際に、1 要素が全て黒である干渉縞が無い要素を判定させる処理を追加する。干渉縞が無い場合は次の要素に進み、干渉縞がある場合は x 座標の値を返す。干渉縞が無い分の露光処理のみ省くように変更を行い Fig. 3 のパターン 1 を露光し、出力時間の比較を行う。この時、露光処理を省くことで得られる短縮時間は干渉縞の無い要素に露光処理時間をかけ

* 1:日大理工・学部・応用情報 † 2:日大理工・教員・応用情報

ることで求められる。

2. 5. ステージ処理の短縮

現在用いているステージは移動の際に加速，等速，減速が生じている。しかし，1 要素毎の間隔が狭い場合に加速，減速が占める割合が高くなるので，十分な性能を発揮できていない。したがって，パターン 1 ように 1 から 5 要素まで続けて干渉縞が無い場合には連続して移動させることにより，さらなる高速化が望まれる。そのため，次に干渉縞が有る要素座標値と最後に露光を行った座標との差を移動量とし，ステージ移動を行う。その後，パターン 1 を出力し，露光処理のみ短縮したものと比較を行う。

また，ステージ移動を BMP データの読み込みと合わせて動作させると，ステージを端まで移動させる必要があり，移動させる要素数は干渉縞の有無で変わらない。そのため，ステージ移動は独立させ最短距離で移動させる方法に変更する。Fig. 3 のパターン 1 を出力し比較を行う。パターン 1 の場合に右に 3 要素動かし，上に 1 要素動かすことにより移動要素数を減らすことができ，ステージ移動時間のさらなる短縮が行える。さらにパターン 2 を出力し，同様の露光数の場合に干渉縞の分布による短縮効率を比較する。

2. 6. CGRH の出力確認

本研究では，Fig. 2 の (b) に示すように，露光処理の省略と最短距離でのステージ移動を行う。その後，従来のプログラムと高速化を行ったプログラムで同条件で同一の CGRH を出力し，出力時間の比較と高速化による干渉縞が正しく表れるかを確認する。

3. 結果

3. 1. 露光処理の短縮

(a) のプログラムと露光処理のみ短縮した場合での，パターン 1 の出力時間を Table 1 に示す。シャッタとセトリング時間が合わせて 0.705s のため，短縮できる時間は 14.11s となる。実際に短縮された時間は 12.9s となり，すべての要素で干渉縞判定の処理を増やしているために，全体の処理数が増え，時間がかかっていると考えられる。

3. 2. ステージ処理の短縮

移動量からステージを連続して移動させた場合の出力時間を Table 1 に示す。等速で移動する時間が増えることにより出力時間を 16.79s に短縮できた。ステージ移動の変更も出力時間短縮に効果的であるといえる。また，ステージ移動を最短で行った場合の出力時間を比較する。同じパターンであっても移動要素数が減り，21.90s に短縮することができ，移動要素数も短縮を行える要因であるといえる。さらにパターン 2 の出力から同様の露光数であってもパターン 1 のように露光箇所がまとまっている場合の方が短縮率が高いことが確認できる。

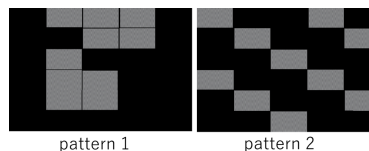


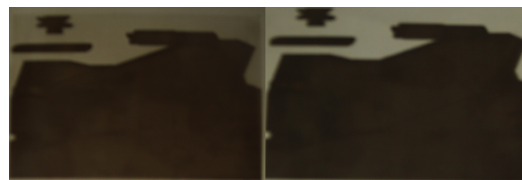
Figure 3 Diagram of test pattern

Table 1 Comparison of output time of test pattern

Current program: pattern 1[s]	26.29
Shorten exposure process only: pattern 1[s]	26.39
Continuous stage movement: pattern 1[s]	22.60
Stage minimum movement: pattern 1[s]	17.39
Stage minimum movement: pattern 2[s]	19.67

Table 2 Parameters of CGRH

Total number of elements	27150
Number of elements with interference fringes	21648
Number of elements without interference fringes	5502
Exposure time[s]	0.7055
Actual shortening time[min]	72



The interference fringes outputted in (a) The interference fringes outputted in (b)

Figure 4 Output CGRH interference fringes

3. 3. CGRH の出力確認

今回用いた CGRH のパラメータを Table 2 に示す。露光時間は 590min から 518min になり短縮時間は 72min となる。露光処理の短縮時間は Table 2 の値より 64min となるため，短縮する露光処理時間以上の値となった。また，それぞれの CGRH の出力された干渉縞を Fig. 4 に示す。結果より，干渉縞は高速化前後で同様の位置に露光でき，干渉縞が無い要素では感光材料が焼けていないことがわかる。したがって，本研究の高速化は実際の CGRH でも短縮が可能であるといえる。

4. むすび

本研究でプログラムを変更し，露光動作の短縮とステージ移動の変更で出力時間を高速化することができた。また今後の課題として，残りの処理である読み込み，表示，通信の短縮が挙げられる。

参考文献

[1] 井上正也, 安元実, 山口健, 吉川浩: “フリンジプリンタの出力の高速化”, HODIC Circular, 34, 3, pp. 10-13 (2014 年 9 月 5 日).

[2] 岩本拓己: “縮小光学系のレンズ変更によるフリンジプリンタの高精細化”, HODIC Circular, 37, 3, pp. 14-17 (2017 年 9 月 15 日).