

全方向視差高解像度 CGH アニメーションにおける 二分探索による構造化照明の自動マッピング

Automatic Mapping of Structured Illumination Using Binary Search in Animation of Full-Parallax High-Definition CGH

田村 直樹 西 寛仁 松島 恭治

Naoki Tamura Hirohito Nishi Kyoji Matsushima

関西大学 システム理工学部 電気電子情報工学科

〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35

Department of Electrical, Electronic and Information Engineering, Kansai University

Yamate-cho 3-3-35, Suita, Osaka 564-8680, Japan

E-mail: k351797@kansai-u.ac.jp (N. Tamura)

Abstract Since full-parallax high definition CGHs (FPHD-CGH) consist of a gigantic number of pixels, it is difficult to change their reconstructed images. Therefore, an animation method by mapping structured illumination was proposed, but this method requires very precise mapping of the structured illumination with an accuracy less than 0.1 mm. In this paper, we propose an automatic mapping technique using binary search of markers made at the four corners of the CGH in advance. A fabricated portable illumination system is reported as well.

Keyword Computer-generated hologram, Animated CGH, Mapping structured illumination

1. はじめに

近年、コンピュータホログラフィと計算機技術の発展により、数百億から一千億以上のピクセルを有する全方向視差高解像度計算機合成ホログラム(Full-Parallax High-Definition CGH, 以下 FPHD-CGH)が作製されるようになった。このような FPHD-CGH では、知覚矛盾が全く生じないため驚くほど奥行き深い 3 次元映像を再生できる[1]。また、ホログラムサイズの大型化も進んでおり、サイネージなど FPHD-CGH の社会実装も期待されている。しかし、その再生像は 1 枚の静止画であり、視点移動に伴って見える像が変化するアニメテッド CGH を除き[2]、像を変化させることは非常に困難である。これは、FPHD-CGH が先述のとおり莫大なピクセル数で構成されており、そのピクセル数を表示できるディス

プレイが現状存在しないためである。

そこで、複数フレームの干渉縞を空間分割して 1 つに統合し、空間分割に合わせたパターンの構造化照明で所望のフレームの干渉縞のみを照明してそのフレームを再生し、照明パターンを切り替えることで FPHD-CGH のアニメーション再生を行う手法を提案している[3]。この手法では、カラーフィルタ方式フルカラーCGH[4]でもアニメーション再生ができることが確認されている[5]。

しかし、この手法では構造化照明光を 0.1 mm 以下の高い精度で CGH 干渉縞にマッピングしなければ所望のフレーム以外の像も同時に再生され、フレーム間クロストークが発生する。このマッピングには長い時間と熟練を要し、オンサイトでの調整も容易ではない。そこで本研究では、あらかじめ CGH の四隅に

設けたマーカーを二分探索して自動的にマッピングを行う手法を提案し、これを用いた可搬性のある照明装置の製作を報告する。

2. 構造化照明の自動マッピング

2.1. 自動マッピングの原理

本研究では、干渉縞に照射する構造化照明を、レーザープロジェクタを用いて発生させる。オンサイトでの設置では、一般に、干渉縞とプロジェクタの位置関係を先に決め、投影画像を変形して正確に干渉縞部分に照明を位置合わせする。これを正確に行うためには、投影画像中のどのピクセルが干渉縞の四隅の位置を照明しているか特定する必要がある。

このピクセルを特定するため、Fig.1 に示すようにあらかじめ CGH 干渉縞の四隅位置にマーカーを設けておく。マーカーは照明光が透過する微細な開口になっており、その背後にフォトセンサを設置することで、マーカー部分が照明された場合にそれを検出できるようにする。実際には、Fig.2 のように PC を用いて四隅に設置したそれぞれのフォトセンサから得られる信号強度を計測しながらマーカー位置を探索し、干渉縞の四隅位置の特定を行っていく。

マーカー位置を特定する手法の一つとして、照明光が小さなスポット光となるような画像をプロジェクタに表示し、そのスポットで干渉縞上をラスタスキャンする方法が考えられる。スポットがマーカーの開口を照明しているときにのみセンサ信号が得られるので、スポットのサイズを小さくしながらラスタスキャンを繰り返し、最終的にスポットが 1 ピクセルのサイズになるまで行うことでマーカー位置を特定することができる。

しかし、この手法は現在広く普及している LCOS 液晶プロジェクタ等では有効であるが、カラーFPHD-CGH 再生に適したレーザー走査型プロジェクタには適用できない。

2.2. レーザー走査型プロジェクタ

本研究で用いたレーザー走査型プロジェクタのスペックを Table 1 に示す。このプロジェクタは MEMS ミラーを用いて RGB レーザービームをスキャンして像を投影するプロジェクタであり、一定の範囲ではフォーカスフリーである。また、レーザー光源であるため、

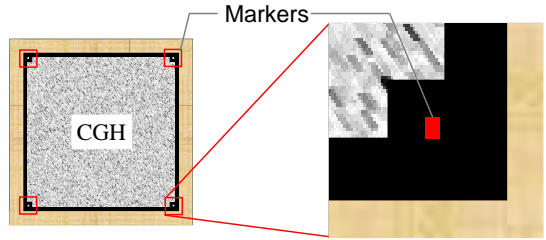


Fig.1 Markers made for detecting projection pixels illuminating four corners of the CGH.

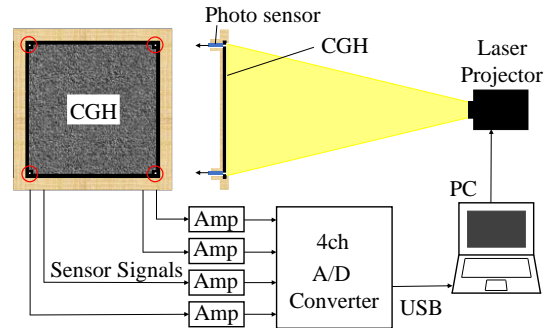


Fig.2 Configuration of the automatic mapping system.

Table 1 Specification of the projector used for structured illumination.

Product name	SONY Mobile Projector
Display resolution [pix]	1920×720
Light source	Laser diode
Aspect ratio	16:9
Maximum projection distance [m]	3.45
Maximum screen size [in]	120
Brightness [lm]	32
Frame rate [fps]	60

RGB カラーフィルタ方式カラーCGH でも、再生像にボケが生じない理想的な照明となる。

しかし、このプロジェクタでは、前述のスポット光を投影する手法でのマーカー位置の特定が難しい。これは、スポット光のパターン自体がビームスキャンで形成されているため、スポット光がマーカーを照明しても、センサ信号が得られるのはビームが開口を横切った一瞬であるからである。ビームスキャンの垂直同期信号等は得られないので、スポットパターン中のどのピクセルが開口を照明しているか特定することができない。そのため、本研究ではレーザー走査型プロジェクタでも

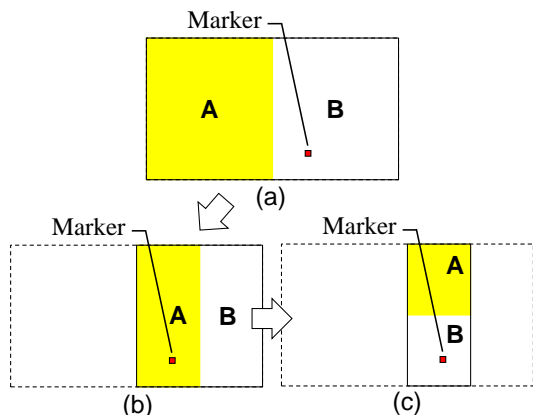


Fig.3 The principle of the proposed binary search.

マーカー位置を照明しているピクセルが容易に特定できるような、二分探索を用いた手法を考案して用いた。

2.3. マーカー照明ピクセルの二分探索

二分探索によってマーカー照明ピクセルの特定を行う原理を Fig.3 に示す. この手法では、まず(a)のように、マーカー位置を探索する範囲の半分のみを照明するような画像をプロジェクタによって表示する. この時、プロジェクタのビームスキャン 1 フレームの時間内にフォトセンサで信号検出されれば、照明した領域内にマーカーを照明しているピクセルがあることがわかる. 従って、次はこの領域をさらに二分割して、センサ信号の有無を検出する. 一方で、照明した領域内でセンサ信号が得られなかった場合は、照明していなかった領域で二分探索を行っていく. この操作を縦方向横方向がそれぞれプロジェクタの 1 ピクセルの大きさになるまで繰り返すことにより、投影画像の中でマーカー部分を照明しているピクセルを特定することができる.

本手法での探索回数は、探索範囲の横方向と縦方向のピクセル数をそれぞれ N_x , N_y とすると、

$$N = \log_2 N_x + \log_2 N_y \quad (1)$$

で与えられる. 本研究で用いたプロジェクタの解像度は 1920×720 ピクセルであるため、 $N \approx 20.4$ となり、理論上約 21 回の探索で干渉縞四隅位置を照明しているピクセルを特定できる. 従って、ビームスキャンが 60fps のプロジェクタを用いた場合、約 1.4 秒で四隅全て

のピクセルを特定することができる.

3. アニメーション CGH の作製

3.1. 干渉縞パターンの計算と統合

本研究では、4 フレームで構成された単色アニメーション用 CGH を作製した. 各フレームでは、それぞれマル、バツ、サンカク、壁紙のみのモデルを再生する.

これら 4 つの 3D モデル群の全方向視差の物体光波をポリゴン法によって個別に計算し、シルエット法によって隠面消去を行なった. 得られたそれぞれの物体光波を参照光波と数値的に干渉することにより各フレームの干渉縞パターンを計算した. これを 128×128 の矩形ブロックに分割して抽出し、1 つの干渉縞に統合した. 各ブロックは約 0.65 mm 角であり、ブロック間には 0.16 mm のガードギャップ領域を設けている. このような手順で作製したアニメーション CGH のパラメータを Table 2 に示す.

3.2. 自動マッピング用マーカーの設計

干渉縞の四隅位置に設置するマーカーの開口サイズは、プロジェクタ投影画像の 1 ピクセルの大きさと同じ大きさとした. 投影画像の大きさはプロジェクタと CGH 間の距離によって変化するため、本研究では投影画像の広がりとして再生像の観察のしやすさの観点から、プロジェクタと CGH 間の距離を 40 cm とした. 用いたプロジェクタではこの距離での投影画像のサイズは $334 \text{ mm} \times 185 \text{ mm}$ となるので、これをプロジェクタの解像度で横縦それぞれ除算することによって、投影画像の 1 ピクセルの大きさを計算できる. その結果、横 0.18 mm , 縦 0.26 mm の矩形開口のマーカーを四隅に設置した.

4. 提案法による CGH アニメーション

4.1. CGH アニメーションの光学再生

二分探索による 1 つのマーカー照明ピクセル特定にかかった探索回数は 22 回であり、理論値より多くなった. ここで、提案手法では投影画像のピクセル数を二分の一として探索を進めるが、ピクセル数が 2 で割り切れない場合があるため、その場合は切り上げる必要がある. 例えば、11 ピクセルの探索範囲の次に探索する範囲は 5.5 ピクセルであるが、5.5 ピ

クセルを表示することはできないため、切り上げて6ピクセルの範囲を探索する。そのため、理論値より数回探索回数が増えている。

二分探索による自動マッピングを行って得られた4つのフレームの再生像の写真をFig.4に示す。各フレームで違うモデルの像が再生されており、CGHのアニメーション再生ができていくことがわかる。しかし、どのフレームでもクロストークが発生している。ここで、干渉縞の0.65mm角の各ブロック一つに対するプロジェクタ投影画像のピクセル数は3.7×2.5ピクセルと、非常に小さい値となっている。このように、各ブロックに対する投影画像の有効ピクセル数が十分に確保できていないため、構造化照明がぼけ、クロストークが発生したと考えられる。

4.2. 照明装置の小型化

提案した手法では容易に自動マッピングを行うことができるが、使用する機器やケーブルが多く広いスペースが必要になるため、展示するには不向きである。従って、本研究ではFig.5に示すようにこれらの機器やケーブルをまとめ、オンサイトでの設営を可能にした。

5. まとめ

FPHD-CGHアニメーションにおける二分探索による構造化照明の自動マッピング手法を提案した。提案した手法を用いて干渉縞の四隅全てを自動マッピングした結果、容易な操作で鮮明なアニメーション再生像を確認することができた。今後は、CGH大型化による照明光の有効ピクセル数増加や、より可搬性のある照明装置の製作を試みる。

謝辞

本研究は、日本学術振興会科研費22H03712の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] K. Matsushima: *Introduction to Computer Holography*, Sec. 1.3 (Springer, 2020).
- [2] 湯浅, 山口, 吉川: “写実的なアニメテッドホログラムのための点群データ生成手法の提案”, 3次元画像コンファレンス 2020, 8-3 (2020).
- [3] 松島, 小中, 森川: “構造化照明マッピングを用いた全方向視差高解像度CGHのアニメーション”, 3次元画像コンファレンス 2021, 2-2

(2021).

- [4] Y. Tsuchiyama and K. Matsushima, “Full-color large-scaled computer-generated holograms using RGB color filters,” *Opt. Express* **25**, 2016-2030 (2017).
- [5] プレスリリース, “ホログラフィーのサイズや視域角を維持しながらカラーアニメーション化に成功”, <https://www.kddi-research.jp/newsrelease/2022/050901.html>, (参照 2023/01/23).

Table 2 Parameters of the animated CGH.

No. of pixels ($W \times H$)	131,072 × 131,072
Pixel pitches [μm]	0.8 × 0.8
Size ($W \times H$) [cm]	10.4 × 10.4
Design wavelength [nm]	633
No. of frames	4

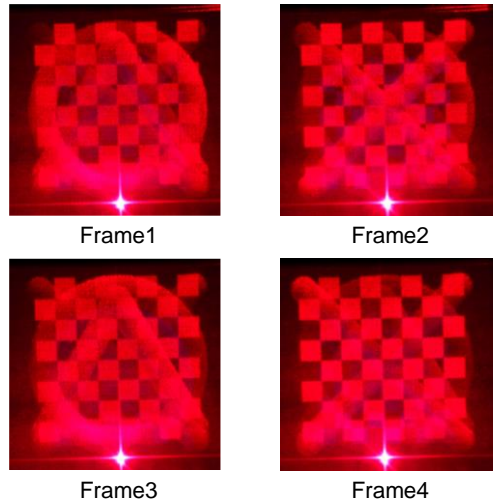


Fig.4 Photographs of optical reconstruction of the animated FPHD-CGH, adjusted using the proposed method.

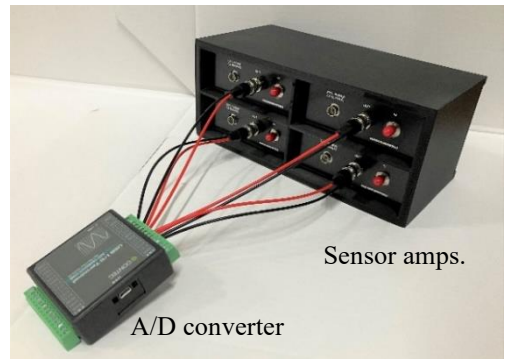


Fig.5 The portable illumination system used for on-site setup.