

構造化照明マッピングを用いた CGH アニメーションにおける位置合わせの自動化

Automatic Positioning in Animated CGH by Mapping Structured Light

田村直樹¹ 小磯諒太² 野中敬介² 小林達也² 松島恭治¹

Naoki Tamura¹ Ryota Koiso² Keisuke Nonaka² Tatsuya Kobayashi² Kyoji Matsushima¹

¹関西大学 システム理工学部 電気電子情報工学科

²KDDI 総合研究所

¹Department of Electrical, Electronic and Information Engineering, Kansai University

²KDDI Research, Inc.

ABSTRACT

Although full-parallax high-definition CGHs (FPHD-CGH) reconstruct very impressive deep 3D images, its gigantic number of pixels makes it impossible to change the reconstructed image. The mapping of structured light is the technique that allows us to animate FPHD-CGHs. However, since very precise mapping of the structured light is required to realize animation without crosstalk, an automatic positioning technique is proposed in this paper. An actual animated FPHD-CGH, positioning of the illumination is performed by the proposed technique, is demonstrated to verify the validity of the technique.

Keywords: 計算機合成ホログラム, CGH アニメーション, 構造化照明マッピング

1. はじめに

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: FPHD-CGH)では, その再生像に知覚矛盾が全く生じないため, 従来の技術では困難な, 驚くほど深い奥行き of 3次元映像を再生することができる[1]. その画像サイズも A4 サイズ以上に達し, ポスター広告などへの応用が期待されている. しかし, その再生像は静止画であり, 視点移動によるアニメテッド CGH 以外では[2], 像を変化させること自体が非常に困難である. これは, FPHD-CGH の画素数が, 例えば, 一千億ピクセルであれば 8K UHD TV の約 3,000 台分に相当するためである. FPHD-CGH でアニメーション映像を実現するためには, CGH 自体を機械的に交換する方法や, 干渉縞

画像をフィルム化するなどしてキネマトグラフ的に再生するような方法が考えられるが, いずれも実現は簡単ではない.

そこで, 複数フレームの干渉縞を空間的に分割・統合し, CGH 照明光源としてプロジェクタを用いて干渉縞に正確にマッピングした構造化照明を切り替えることにより FPHD-CGH のアニメーション再生を実現する手法を提案している[3]. モノクロ CGH だけでなく, RGB カラーフィルタ方式フルカラー CGH [4]でもこの手法によるアニメーションが可能であることが確認されており[5], 今後はサイネージなどへの活用が期待されている.

しかし, 構造化照明光を CGH 干渉縞にマッピングする際には, 10~100 μm 程度の位置合わせ精度が要求される. そのため, 調整に長い時間を要し, 所望のフレーム以外の像が再生されるフレーム間クロストークが発生する問題が生じていた[3]. そこで本論文では, 構造化照明の位置合わせを自動化する手法を提案し, その手法を用いて得られたアニメーション CGH の再生像について報告する.

田村直樹

<k351797@kansai-u.ac.jp>

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

TEL 06-6368-1121(内線 5722)

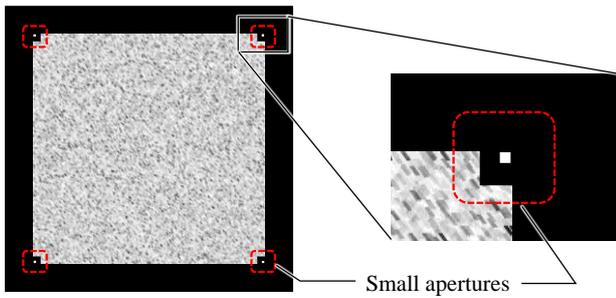


Fig.1 Apertures used for detecting corner-illuminating pixels.

2. 構造化照明の位置合わせの自動化

2.1. 基本的な原理

本研究では、プロジェクタを用いて構造化照明を発生する。プロジェクタと干渉縞の位置関係が一定である場合、プロジェクタに搭載された台形補正等と類似した方法を用いて投影画像を変形し、構造化照明を正確に干渉縞に位置合わせする。これを正確に実行するためには、投影画像のどのピクセルがCGH干渉縞の四隅を照明しているかを前述の精度程度で正確に特定する必要がある。

そのため本研究では、Fig.1に示すように、CGH干渉縞の四隅にマッピング調整用の小開口を設け、Fig.2に示すように、その背後にフォトセンサを設置して照明光が開口を照明しているかどうかを検出した。構造化照明を制御するPCでは、Fig.3に示すように、CGHの四隅に取り付けたフォトセンサからの信号強度をモニターし、投影画像中で四隅を照明しているピクセルの探索を行った。

プロジェクタの投影画像中で干渉縞の四隅を照明しているピクセルを探索する手法としては、例えば、Fig.4(a)に示すようにスポットライト状の画像を投影してそれをスキャンしていく手法などが考えられる。この場合、スポット光が開口を横切る間のみセンサ信号が検出されるため、スポットサイズを縮小しながらスキャンすればその時系列信号から容易に開口を照明しているピクセルを特定できる。しかしながら、これは現在広く普及している液晶プロジェクタ等の画像を投影するタイプのプロジェクタの場合である。

本研究では、SONY Mobile Projectorを使用した。このプロジェクタは光源にLDを用いているため、RGBカラーフィルタ方式フルカラーCGHを照明し

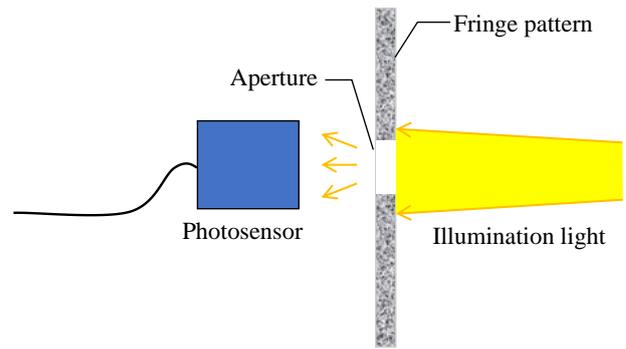


Fig.2 A photosensor placed behind the aperture.

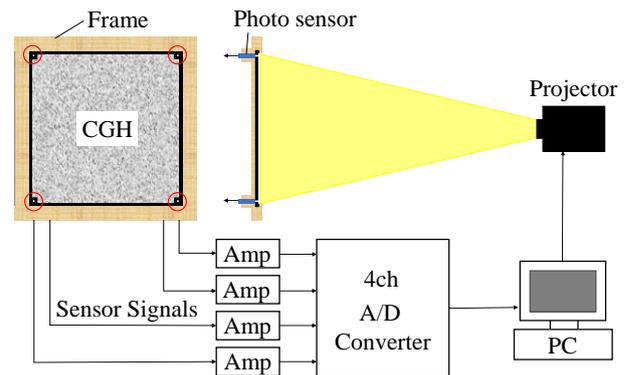


Fig.3 Configuration of automatic positioning.

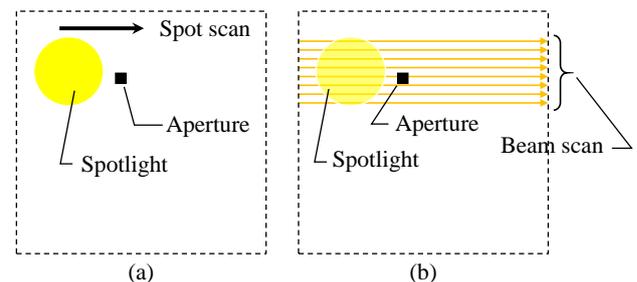


Fig.4 Search of the aperture-illuminating pixel by projecting spotlight-like illumination pattern.

てもボケがほとんど生じない。また、フォーカスフリーで投影光の広がりも小さいため、CGH干渉縞を照明する投影画像の有効ピクセル数を大きくすることができる。ただし、このプロジェクタは液晶プロジェクタとは異なり、ビームスキャン方式で画像を投影している。そのため、スポットライト状の画像を投影している場合でも、実際にはFig.4(b)に示すように、細いビームがスポットライトのパターンを形成しているだけであり、ビームが開口を横切る一瞬だけしかセンサ信号が得られない。ビームスキャン自体を制御することはできないため、センサ信号と開口を照明しているピクセルの対応付けができず、探索はほぼ不可能である。そのため、本研究ではビームスキャン方式のプロジェクタであっても開口照

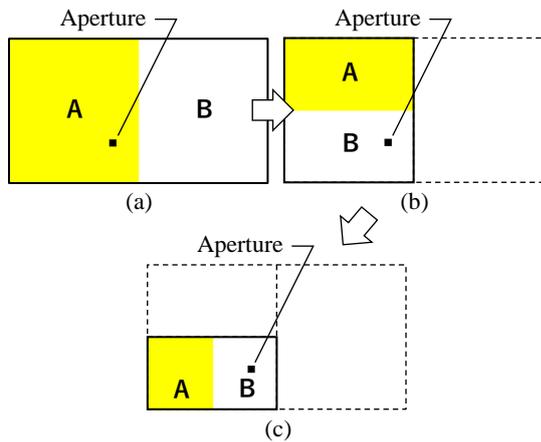


Fig.5 The principle of the proposed binary search.

明ピクセルを容易に特定できる手法として、以下のバイナリサーチ法を考案して用いた。

2.2. バイナリサーチ法

バイナリサーチ法の原理を Fig.5 に示す。この手法では、(a)に示すように、まず照明光が干渉縞に設けた特定の開口の探索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表示する。このとき、照明されている領域を A、照明されていない領域を B とすると、プロジェクタのビームスキャン 1 フレーム期間中にフォトセンサからの信号が得られた場合、開口は A の領域にあることになる。逆にセンサ信号が得られなかった場合は B の領域にあることになる。ここで、センサ信号のタイミングは関係なく、センサ信号が得られるべき 1 フレーム期間中に信号が得られたかどうかだけが重要である。

もしも、1 フレーム期間中に信号が検出され、A の領域に開口があることが分かった場合は、Fig.5(b)に示すように、(a)の A 領域の半分のみを照明し、同様に探索を行っていく。逆にセンサ信号が得られなかった場合は、(a)の B 領域の探索を行なう。これを照明光がプロジェクタ投影像の 1 ピクセルのサイズになるまで繰り返す、開口を照明しているピクセルの位置を特定する。この手法では、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、探索回数は

$$N = \log_2 N_x + \log_2 N_y$$

で与えられる。本研究では 1920×720 ピクセルのプロジェクタを用いたため $N \approx 20.4$ となり、約 21 回の探索で一つの開口の照明ピクセルを特定できる計算

Table 1 Parameters of the animated CGH.

Table 1 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
Center of spherical reference field (x, y, z) [mm]	(0, -120, 600)

になる。そのため、60fps のプロジェクタでは、理論上は 1.4 秒ほどで四隅に対応する 4 ピクセルを探索できる。

3. アニメーション用 CGH の作成

3.1. 干渉縞パターン計算

本研究で作製した単色アニメーション用 CGH の 3D シーンを Fig.6 に示す。アニメーションは 4 フレームで構成しており、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 シーンの全方向視差の物体光波をポリゴン法とシルエット法を用いて個別に計算した。これらの物体光波をそれぞれ参照光波と数値干渉して発生した $104 \text{ mm} \times 104 \text{ mm}$ の干渉縞を 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[3]。矩形ブロックの間には 0.16 mm のガードギャップを設けたため、一つのブロックのサイズは約 0.65 mm となっている。このようにして作成した CGH のパラメータを Table 1 に示す。

3.2. 自動位置合わせ用の開口

開口の大きさを CGH 面上のプロジェクタ投影画像の 1 ピクセル分の大きさに設定している。ここで、投影画像の大きさはプロジェクタから CGH までの距離によって変化するため、本研究ではプロジェクタと CGH の距離を 40 cm に設定した。この距離における投影画像のサイズは $334 \text{ mm} \times 185 \text{ mm}$ であるので、プロジェクタのピクセル数で横縦それぞれ除算することで投影画像の 1 ピクセルに相当する大きさを求めた。その結果、縦 0.26 mm 、横 0.18 mm の矩形の開口を四隅に設けた。

4. CGH 光学再生像のアニメーション結果

実際に探索を行ったところ、1 つの開口の照明ピクセルの探索回数は、探索範囲全体の半分のサイズから探索を始めるため横方向で 9 回、横方向の最後の探索終了後に縦方向の探索範囲の半分から探索を

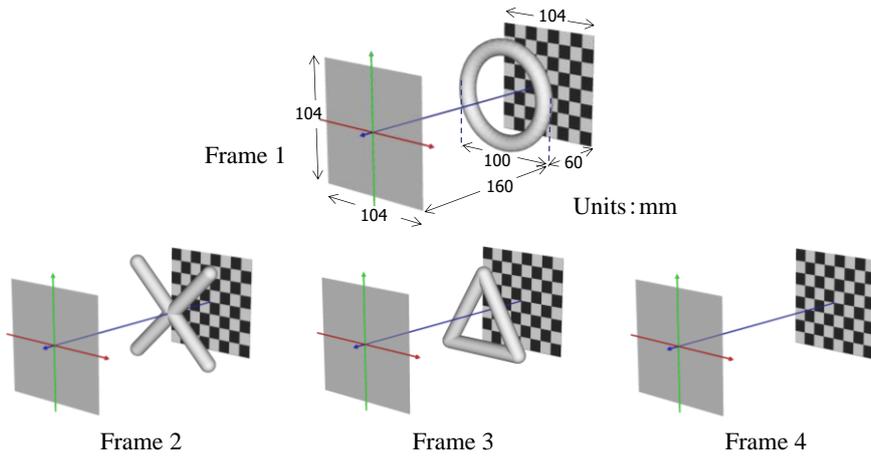


Fig.6 The 3D scene of the animated CGH.

始めるため縦方向で8回, 合計で17回となり, ほぼ理論通りの結果になった。

一方, 探索時間の方は理論より長くなった。これは, フォトセンサから得られるセンサ信号のパルス幅が約 $0.2 \mu\text{s}$ であり, AD コンバータの最大サンプリング速度 $4 \mu\text{s}$ よりも短かかったためである。プロジェクタの1フレーム期間の検出ではセンサ信号を見逃す可能性があるため, 本研究ではサンプリング速度を $60 \mu\text{s}$, サンプリング回数を10000回に設定し, 1回の探索で約36フレーム分の検出時間を取った。そのため, 1つの開口の照明ピクセルを特定するのに約10.2秒を要した。

4つのフレームそれぞれの光学再生像を Fig.7 に示す。どのフレームも比較的鮮明な再生像を得られていることがわかる。しかし, 若干のクロストークが発生している。実際に CGH 干渉縞に投影されているプロジェクタの有効ピクセル数は約 597×404 ピクセルであり, $0.65 \text{ mm} \times 0.65 \text{ mm}$ のブロック一つに対する投影画像のピクセル数は 3.7×2.5 ピクセルに過ぎない。この様に, 各ブロックに対する投影画像の有効ピクセル数は非常に少なく, 構造化照明パ

ターンにボケが生じてしまっている。若干のフレーム間クロストークは, このボケに起因するものと考えられる。

5. まとめ

構造化照明マッピングを用いた CGH アニメーションにおける照明光の位置合わせを自動化する手法を提案した。提案したバイナリサーチ法を用いて実際に位置合わせを行い光学再生像を観察した結果, 調整時間が激

減し, フレーム間クロストークの発生も軽減することができた。今後はレンズを付加するなどして照明光の有効ピクセル数を増加し, 構造化照明の精度を上げる必要がある。

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] 土山泰裕: カラーフィルタ方式フルカラー高解像度計算機合成ホログラム, 関西大学理工学研究科修士論文 (2018).
- [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 2022-06-22).

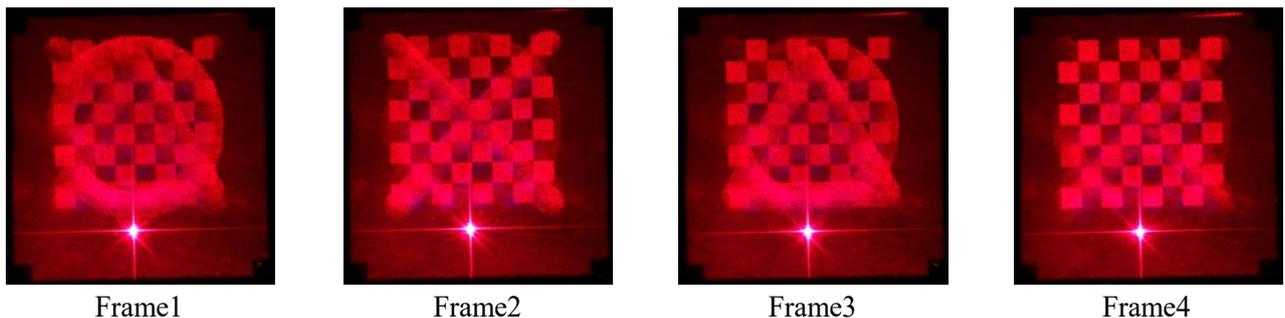


Fig.7 Photographs of optical reconstruction of the animated CGH, adjusted by the proposed method.