

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

Animation of Full-Parallax High-Definition CGH by Mapping of Structured Illumination

松島恭治 小中崇史 森川凌

Kyoji Matsushima Takashi Konaka Ryo Morikawa

関西大学 システム理工学部 電気電子情報工学科

Department of Electrical, Electronic and Information Engineering

ABSTRACT

A technique is proposed to vary the reconstructed image in full-parallax large-scale computer holography, where animation is very difficult because of the gigantic pixel number of the fringe pattern. In this technique, illumination light that has a periodic pattern is projected onto the printed fringe of the computer-generated hologram (CGH), in which multiple fringes of the reconstructed frames are spatially integrated into the single fringe pattern. The change of reconstructed image is realized by change of the structured light, illuminating the corresponding fringe area. Animated reconstruction of a full-parallax high-definition CGH is demonstrated to verify the proposed technique.

Keywords: full-parallax CGH, animation, structured illumination

1. はじめに

コンピュータホログラフィのアルゴリズムと計算機ハードウェアの発達により、数 100~1000 億画素の全方向視差高解像度 CGH (Full-parallax high-definition CGH, 以下 FPHD-CGH)を計算・作製できるようになった。このような FPHD-CGH は、その再生像に一切の知覚矛盾が生じないため、正にそこに物があるように見えるホログラフィの良さを実現する究極の 3D 映像技術となっている [1]。現在のところ、「Toy Train」と名付けられた FPHD-CGH が最大であり、そのサイズは 18cm×18cm、水平垂直視域角は 45 度となっている。この FPHD-CGH では、奥行き 40cm 以上の物体空間が自然な運動視差と輻輳、焦点調節を伴って再生されるため、驚くほど深い奥行き感を感じる 3D 映像が得られる。

しかしながら、このような FPHD-CGH の干渉縞は

松島恭治

<matsu@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 06-6368-0933

1,000 億画素以上のデジタル画像となっており、単体の電子デバイスはもちろん、時空間的に多重化したホログラフィックディスプレイによってもその電子的再生は困難

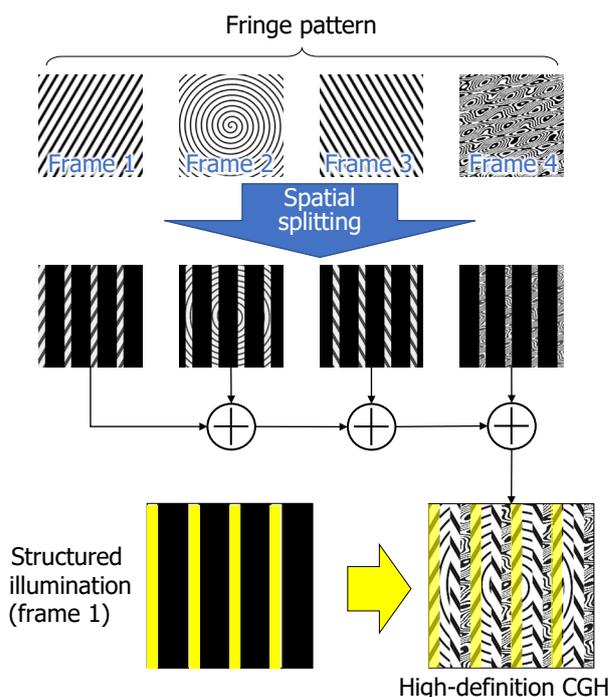


Fig. 1 The principle of animated high-definition CGHs by mapping of structured illumination

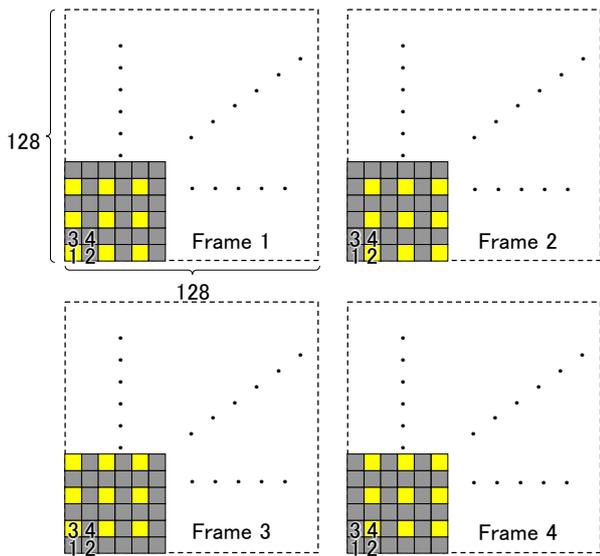


Fig. 2 The pattern of a structured illumination.

である。そのため、再生像を全く変化できない静止画像となってしまうことが、このような高解像度コンピュータホログラフィ技術を社会実装する上で問題となっている。FPHD-CGHの再生像を変化させるためには、機械的にCGHを交換する方法や、フィルム素材に転写してキネマトグラフィ的に再生する手法等が考えられるが、いずれも大型で複雑な装置構成となることが問題となる。

そこで本論文では、構造化照明光をFPHD-CGHの干渉縞にマッピングする手法を用いたアニメーション技術を提案する

2. 構造化照明光マッピングによる再生像アニメーションの原理

構造化照明は、符号化照明、パターン照明等とも呼

ばれ、主として撮像や計測のために用いられる技術であり、周期的な縞や格子などの構造を有するパターン光で物体を照明することにより、3次元計測や超解像が実現されている。これは、近年急速に研究が進むシングルピクセルイメージングでも用いられる技術である。本研究では、この構造化照明を計測に用いるのではなく、FPHD-CGHの再生に用いる。

提案手法の原理をFig.1に示す。まず、再生したい映像の物体モデルを複数用意し、その物体光波を合成し複数の干渉縞パターンを数値的に発生する。これらの干渉縞パターンを適当な周期的あるいは非周期的なパターンで空間分割する。分割した干渉縞を一つに統合することにより、1枚の干渉縞とし、それを描画する。例えば、Fig.1では周期的な縦縞パターンで4つのモデルの干渉縞を分割・統合している。

ホログラムは干渉縞の断片からでも再生できるため、フレーム1の再生時にはフレーム1の干渉縞にのみ構造化照明光を照射することにより、フレーム1の再生像を得ることができる。照明光パターンを切り替える事により、連続的に複数のフレームを再生することや、あるいは会話的にフレームを切り替えて再生することができる。

3. アニメーション用FPHD-CGHの作製

原理確認のために、約10cm角の単色再生FPHD-CGHを作製した。構造化照明パターンとしては、Fig.1に示した縦縞状のパターンとFig.2に示した格子状のパターンを試みた。しかし、実際に再生実験を行ったとこ

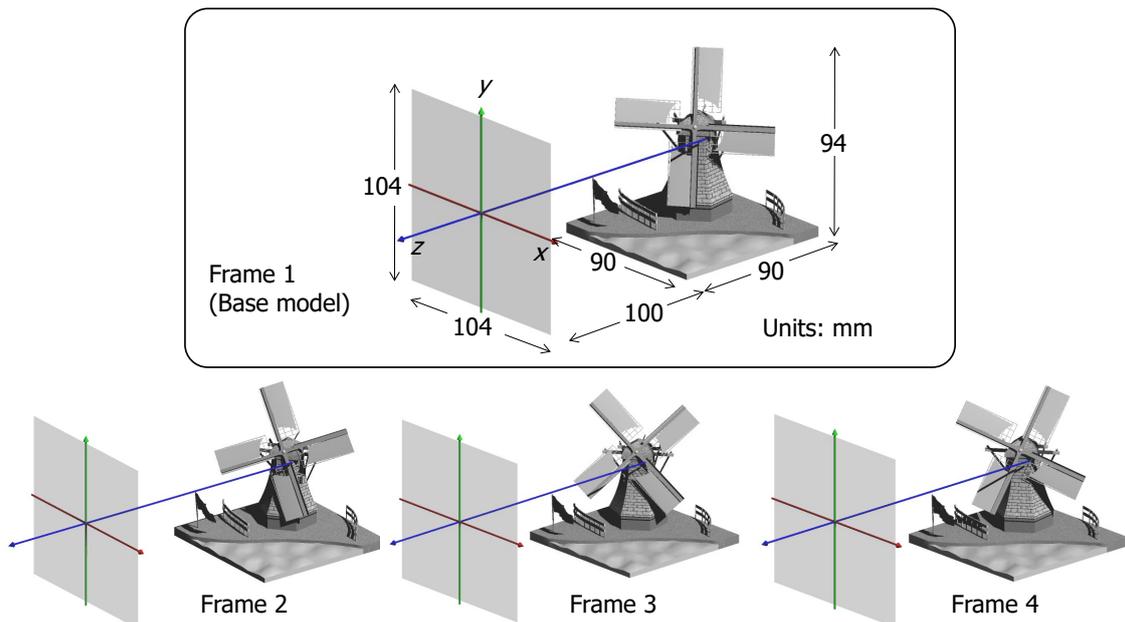


Fig. 3 The 3D scene of the test FPHD-CGH.

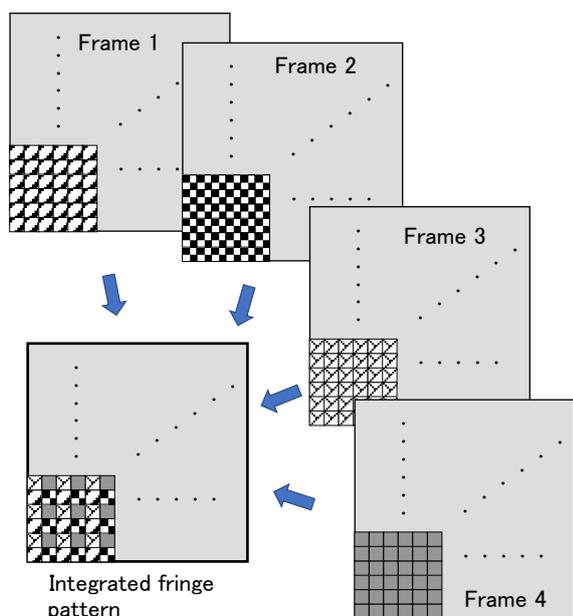


Fig. 4 Integration of fringe pattern of four frames.

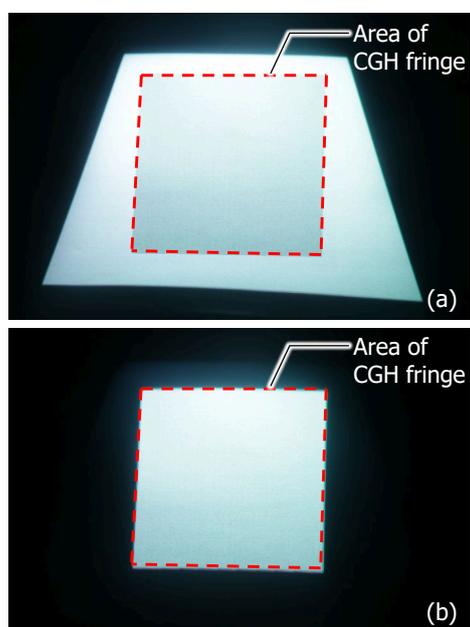


Fig. 5 Correction and position adjustment of projection light.

る, Fig.1 の縦縞状パターンで連続的に再生すると, 再生像が水平方向に流れて見える現象が発生したため, 以下では, Fig.2 の格子状パターンの結果を示す.

3.1 物体モデル

本研究で作成したアニメーション CGH の 3D モデルを Fig.3 に示す. ここでは, 連続的に 4 フレームを再生することを想定して, わずかに異なった 4 つのモデルを用意した. Fig.3 の Frame 1 に示すように, 基本モデルは高さ約 10cm の風車であり, それをホログラムから 10cm 離して配置している. Frame 2~3 は, この基本モデルから風車の羽根を回転させたモデルとなっており, 連続し

て 4 つのフレームを再生することにより, 羽根を回転して見せることを意図している.

3.2 干渉縞パターンの計算と統合

Fig.3 の 3D モデル群の物体光波をポリゴン法によって個別に計算し[2], スイッチバック法によってオクルージョン処理(隠面消去)している[3]. これらの物体光波を参照光波と数値的に干渉することにより, 4 つのフレームのそれぞれについて干渉縞パターンを求めた. 作製した CGH のパラメータを Table 1 に示す.

干渉縞パターンは, Fig.2 の構造化照明パターンに合わせて分割し統合する必要がある. この構造化照明パターンは, 4 個の矩形を 1 ユニットとした周期構造となっており, 4 個のうち一つの矩形領域のみが照明される. 例えば, フレーム 1 では, 図中で「1」とマークされた黄色部分のみが照明される. 従って, Fig.4 に示すように.

Table 2 Specification of the projector used for structured illumination.

Product name	Smart Beam Laser
Display resolution	1280 × 720
Projection method	Laser-driven LCOS
Light source	Laser diode
Projection distance [m]	0.6 – 3
Screen size [in]	20 – 200
Brightness [lm]	100

Table 1 Parameters of the test 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]	630
Center of spherical reference field (x, y, z) [mm]	(0, -100, 600)

フレーム 1 の干渉縞では, 4 個の矩形領域うちの左下のみの干渉縞を最終的な干渉縞に反映させる. 本研究では, 1 フレームの干渉縞がそれぞれ 131,072 × 131,072 の画素を有し, 照明パターンは 128×128 の矩形で構成されているため, 一つの矩形内の干渉縞は 1024×1024 画素を有している. このようにして分割した 128×128 の矩形領域のうち 4 分の 1 のみを最終的な干渉縞に残す. これを 4 つのフレームで行い, 一つの干渉縞パターンに統合した.

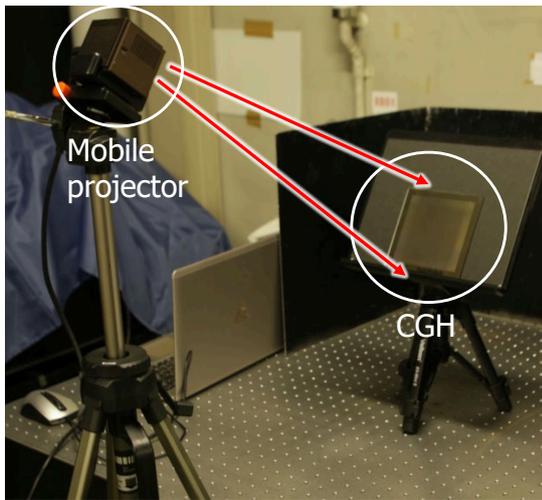


Fig. 6 Setup for optical reconstruction.

4. 構造化照明の発生とCGHの光学再生

市販のモバイルプロジェクターを用いて構造化照明光を発生した。用いたプロジェクターの仕様を Table 2 に示す。このプロジェクターは LD 光源を内蔵し、比較的短い焦点距離で像を投影できる。このプロジェクターをノート PC に接続し、PC 画面にパターン表示してそれを投影した。

本研究では、構造化照明を正確に CGH 干渉縞にマッピングすることが極めて重要である。しかし、投影像の歪をプロジェクターと CGH のアライメント調整だけで除去することは困難であるため、パターン発生に Unity を使い、Unity のユーザーインターフェースによって会話的に投影パターンを調整する機構を実装した。構造化照明の歪補正・位置合わせの例を Fig.5 に示す。

光学再生実験では、Fig.6 に示すようにこのプロジェクターを投影可能距離の下限である 60 cm だけ CGH 面から離し、構造化照明を投射した。構造化照明の写真を図.7 に示す。拡大写真からわかるとおり、投射距離 60 cm であっても 20 インチの画像サイズがあるため、10.4 cm 角の CGH 上では、投影像の実効的なピクセル

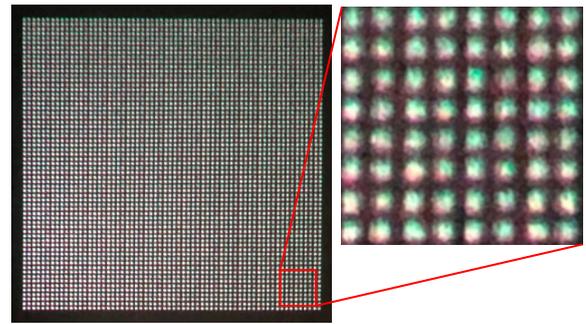


Fig. 7 Photographs of structured illumination.

数が大きく減少し、構造化照明パターンにボケが生じている。この照明光をテスト CGH に投影して得られた光学再生像を図.8 に示す。この写真ではわかりにくいですが、ビデオでは風車が回転している様子が見てとれる。しかし、照明光のボケに起因するフレーム間のクロストークがあることがわかる。

5. まとめ

従来困難であった、全方向視差高解像度 CGH において再生像を変化させる手法を提案した。現在のところ、照明パターンの実効ピクセル数の不足によるクロストークがあるため、今後は投射光学系の改良と干渉縞へのガードギャップの導入等を試みる必要がある。

謝辞

本研究は、日本学術振興会科研費 18H03349 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] K. Matsushima, *Introduction to Computer Holography*, (Springer, 2020).
- [2] K. Matsushima, "Computer-generated holograms for three-dimensional surface objects with shade and texture," *Appl. Opt.* **44**, 4607-4614 (2005).
- [3] K. Matsushima, M. Nakamura, S. Nakahara, "Silhouette method for hidden surface removal in computer holography and its acceleration using the switch-back technique," *Opt. Express* **22**, 24450-24465 (2014).

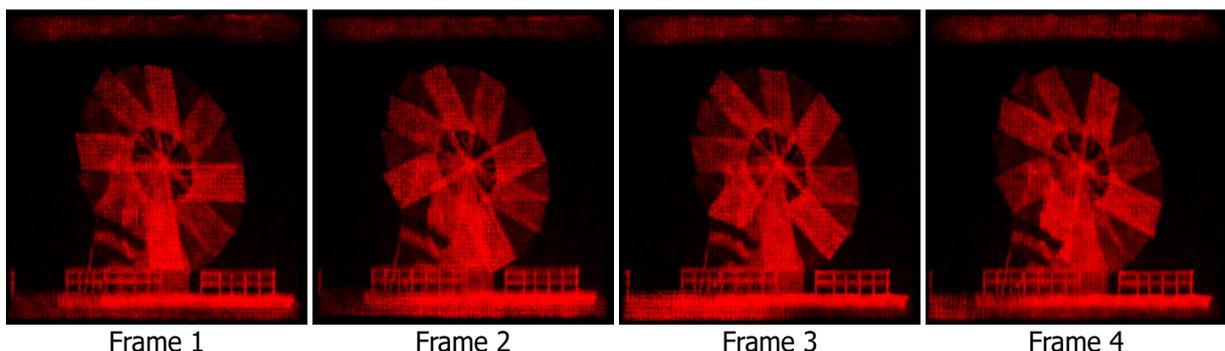


Fig. 8 Photographs of optical reconstruction of the animated FPHD-CGH.