

ポータブルホログラフィックプロジェクタを用いた階調を持つ三次元映像の投影 Development of portable holographic projector capable of expressing gradation

成島 佑華† 森口 嘉樹† 山崎 隆史† 高田 直樹‡

Yuuka Narishima Yoshiki Moriguchi Takashi Yamasaki Naoki Takada

1. はじめに

ホログラフィは、三次元物体からの光(物体光)を媒体へ記録し、記録した媒体に再生光を照射することで、記録した物体光を再生できる技術である。ここで、記録した媒体をホログラムという。コンピュータによって作成したホログラム(CGH:Computer-Generated Hologram)によって三次元映像を実像として投影することを可能とするホログラフィックプロジェクタが提案されている[1-4]。レンズを使わずに1台のプロジェクタで、任意の形を持つ立体スクリーンに焦点のあった三次元映像を投影できる。レンズが不要なため、小型化が容易となるものと考えられている。著者らは、小型のデジタル・マイクロミラー・デバイス(DMD)を、シングルボードコンピュータに搭載したポータブルホログラフィックプロジェクタを開発した[5]。本装置による三次元映像の投影を図1に示す。立体スクリーンに焦点のあった三次元映像が投影されていることが確認できる。しかし、投影される三次元映像の階調表現性の向上が望まれる。

著者らは重み付きバイナリ計算機合成ホログラム(BW-CGH:Binary-Weighted Computer-Generated Hologram)をビットプレーンとして使い、複数枚のビットプレーンを時分割で高速に再生し、残像効果により三次元映像の階調表現を実現する方法を提案している[6-8]。本研究では、ポータブルホログラフィックプロジェクタにBW-CGHを用いて階調を持つ三次元映像を投影可能なシステムを開発した。

2. ポータブルホログラフィックプロジェクタ

ポータブルホログラフィックプロジェクタを図2に示す。小型のDMD(Texas Instrument社製DLP 2000 EVM)を、シングルボードコンピュータ(Raspberry Pi4 model b+)に搭載した装置である。DMDにCGHを表示し、そこに平行光を照射すると、実像である三次元映像を立体スクリーンに投影できる。

3. バイナリCGHとBW-CGH

図3で、点cがバイナリCGHによる再生像を表し、点a,bがBW-CGHによる再生像を表す。バイナリCGHは白と黒の2値で表された干渉縞であり、白の部分のみ光を通す。BW-CGHはバイナリCGHの白色の部分に灰色で表現した干渉縞である。バイナリCGHの白色を灰色にすることで、光の透過率を下げ、再生像の明るさを図3の点aと点bのように暗くすることができる。このように、BW-CGHでは、白色の部分の階調値を変えるだけで、再生像の明るさを自由に調整できることがわかる。

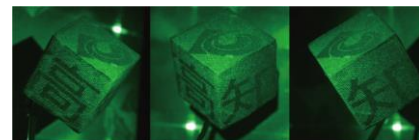
4. BW-CGHによる階調表現手法

図4は8階調を持つ物体点の3枚のビットプレーン B^0, B^1, B^2 への割り当て方を表す。図4の上段は0~7の階調

値を持つ物体点である。例えば、物体点の輝度値 I が6($=2^1+2^2$)のとき、2つのビットプレーン B^1, B^2 に物体点データが割り当てられる。 n 枚目のビットプレーン B^n は、割り当てられた物体点の位置座標から計算により求めたバイナリCGHにおいて、白を灰色で描かれたものである。ビットプレーン B^n によって再生される物体点の輝度が 2^n に比例するように、あらかじめ実験により光源に合わせてBW-CGHの灰色の階調値を準備しておく。BW-CGHによって構成されたビットプレーン B^0, B^1, B^2 を次々と高速に時分割表示することで、残像効果により様々な輝度値 I を持つ物体点が再生される。

5. 開発システム

開発したシステムを図5に示す。事前準備として、図5の上段の青枠に示された装置により、 B^0, B^1, B^2 用の3枚の



左 正面 右
図1 立体スクリーンへの投影

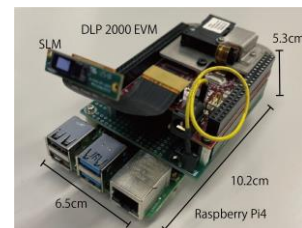


図2 ポータブルホログラフィックプロジェクタ

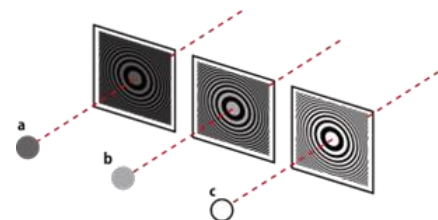


図3 バイナリCGHとBW-CGHの再生像

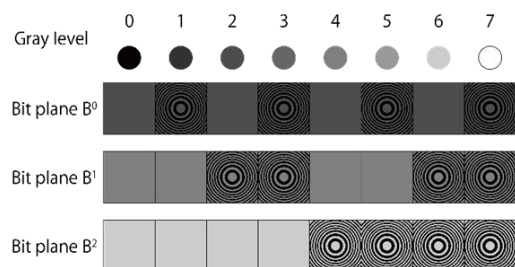


図4 8階調を持つ三次元物体の再生

† 高知大学大学院総合人間自然科学研究科

‡ 高知大学教育研究部自然科学系理工学部門

CGH を作成してシングルボードコンピュータ上のメモリに保存する. 具体的には, CGH 計算用 PC で, 8 階調をもつ物体点データを図 4 のように B^0, B^1, B^2 へ割り当て, それぞれの CGH を作成する. 作成した 3 枚の CGH を Packing[9]して, 送信し, シングルボードコンピュータのメモリに 3 つの Packing CGH Data として保存する. Packing は図 6(a)に示す方法によって行われる. Packing 前の CGH は 1 マスが 1 画素で, 1 画素あたり, RGB α がそれぞれ 8bit, 合計 32bit の光強度データで構成される. 本システムでは, 白黒のバイナリ CGH を使用する. 光強度が 0 より大きければ白とし 0 以下であれば黒として保存する. それにより, 白か黒かの 1bit のデータとなり, 保存するデータ量は 32分の1となる.

次に, 図 5 の下段の青枠に示す装置によって階調を持つ三次元映像の投影を行う. シングルボードコンピュータに搭載されたメモリに保存された B^0, B^1, B^2 の Packing CGH Data を Unpacking してバイナリ CGH に戻す際, 白を灰色にして BW-CGH を作成する. 作成された 3 枚の BW-CGH を B^0, B^1, B^2 とし, DMD によって高速に時分割表示する. そこに, 平行光を照射することで, B^0, B^1, B^2 から再生された映像が残像効果によって重なり, 階調を持つ映像が立体スクリーンに投影される. Unpacking は図 6(b)に示す方法で行われる. Save data の先頭からデータを参照し, 0 であれば, 白に変換し, 1 であれば黒に変換する. その後, 先頭をビットシフトでずらす. 全画素分のデータを参照, 変換することで, Packing CGH Data を CGH 画像に戻すことができる. 本システムでは, Unpacking を行うと同時に, バイナリ CGH の白の画素の階調を, あらかじめ実験により準備した灰色の値にすることで BW-CGH にしている.

6. 結果

再生する BW-CGH の解像度を 832×448 とした. 投影する三次元モデルは 8 階調を持つポイントクラウドモデルで, 2,418 点からなる. モデルは立方体で, 中心にいくほど階調が高くなる. B^0, B^1, B^2 の灰色の階調値は 39, 51, 90 とした. 本システムを使用したときの像を図 7 に示す. 図 7 より, 階調を持つ三次元映像を投影することに成功している.

7. まとめ

ポータブルホログラフィックプロジェクタを用いて, BW-CGH による階調をもつ三次元映像の投影システムを開発した. 最終的に, 立体スクリーンに階調を持つ三次元映像を投影することに成功した.

謝辞

本研究の一部は, 日本学術振興会の科研費・基盤研究(C) (21K11996)および競争的補助によって行なわれた.

参考文献

- [1] E. Buckley, "Holographic laser projection", J. Display Technol. 99, pp.1-6. (2010).
- [2] T. Shimobaba, M. Makowski, T. Kakue, M. Oikawa, N. Okada, Y. Endo, R. Hirayama, and T. Ito, "Lensless zoomable holographic projection using scaled Fresnel diffraction", Opt. Express 21, pp.25285-25290, (2013).
- [3] 長浜 祐樹, 下馬場 朋禄, 角江 崇, 伊藤 智義, "ホログラフィックプロジェクタ", 映像情報メディア学会誌, Vol. 72, No.1, pp.36-39, (2018).

- [4] 田中 祐気, 鈴木 康平, 坂口 朋哉, 角江 崇, 下馬場 朋禄, 伊藤 智義, 高田直樹, "ホログラフィックプロジェクションを用いた 3 次元投影の検討", 3 次元画像コンファレンス 2019 講演論文集, P-6, (2019).
- [5] Y. Moriguchi, H. Sannomiya¹, T. Sakaguchi¹, K. Suzuki, Y. Tanaka¹, H. Nakayama, M. Oikawa¹, Y. Mori, T. Kakue, T. Shimobaba, T. Ito and N. Takada, "Cost-Effective Portable Holographic Projector Using a Single Board Computer", Proc of the International Display Workshops, vol.26, pp.197-198 (2019).
- [6] M. Fujiwara, N. Takada, H. Araki, S. Ikawa, H. Niwase, Y. Maeda, H. Nakayama, T. Kakue, T. Shimobaba, T. Ito, "Gradation representation method using binary-weighted computer-generated hologram", Optical Engineering, Vol. 56, Issue 2, 023105 (2017).
- [7] M. Fujiwara, N. Takada, H. Araki, C. W. Ooi, S. Ikawa, Y. Maeda, H. Niwase, T. Kakue, T. Shimobaba, T. Ito, "Gradation representation method using binary-weighted computer-generated hologram based on pulse width modulation", Chinese Optics Letters, Vol. 15, Issue 6, pp. 060901, (2017).
- [8] M. Fujiwara, N. Takada, H. Araki, S. Ikawa, Y. Maeda, H. Niwase, M. Oikawa, T. Kakue, T. Shimobaba, T. Ito, "Color representation method using RGB color binary-weighted computer-generated holograms", Chinese Optics Letters, Vol. 16, Issue 8, pp.080901, (2018).
- [9] H. Sannomiya, N. Takada, T. Sakaguchi, H. Nakayama, M. Oikawa, Y. Mori, T. Kakue, T. Shimobaba, and T. Ito, "Real-time electroholography using a single spatial light modulator and a cluster of graphics-processing units connected by a gigabit Ethernet network", Chin. Opt. Lett, vol.18, pp. 020902, (2020).

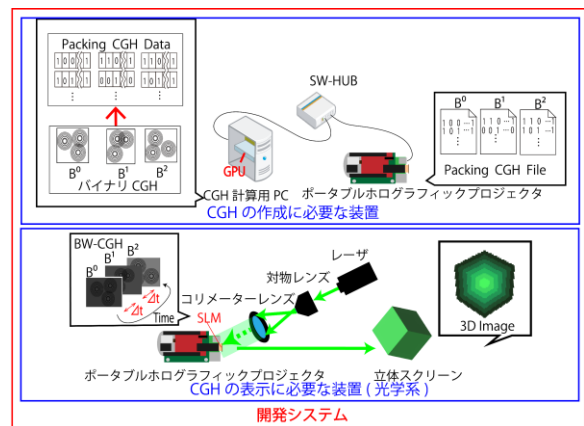


図 5 開発システム

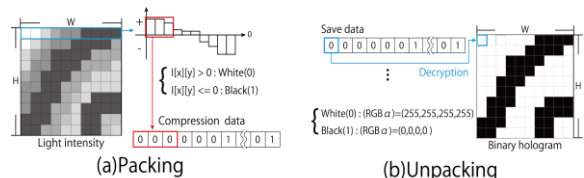


図 6 Packing と Unpacking



図 7 階調をもつ再生像(2418点)