

時分割表示方式電子ホログラフィによる階調を持つ像の再生
 Grayscale representation of 3-D image reconstructed
 from time-division electroholography

藤原 将人[†] 荒木 啓充[†] 庭瀬 裕章[†] 前田 祐貴[†] 中山 弘敬[‡]
 Masato Fujiwara Hiromitsu Araki Hiroaki Niwase Yuki Maeda Hiroataka Nakayama

角江 崇[§] 下馬場 朋禄[§] 伊藤 智義[§] 高田 直樹[¶]
 Takashi Kakue Tomoyoshi Shimobaba Tomoyoshi Ito Naoki Takada

1. はじめに

ホログラフィによる立体像は様々な角度から眺めることができ、視覚疲労もなく長時間利用可能である。このことより、電子ホログラフィは、将来「究極の3次元テレビ」になるものと考えられている。しかし、計算機合成ホログラム(CGH)の計算量は膨大であるため、未だ実用化されていない。そのため、GPUによる計算高速化の研究が行われている[1,2]。

電子ホログラフィによって再生される像において、3次元物体の階調を再現することは容易ではない。CGHの時分割表示による再生像の階調表現に関する研究が行われている[3]。また、階調表現を利用して、再生像にシェーディングを実装する研究も報告されている[4]。

本研究では、バイナリホログラムを黒と8ビットの輝度を持つ灰色で表して光の透過率を調整する方法とビットプレーンを併用した方法を提案する。ビットプレーンを時分割表示方式で再生することにより、1枚の透過型LCDパネルと1つの光源を用いて再生像の階調表現を実現する。再生像の輝度をソフトウェアで制御することが可能なため、取り扱いが容易な方法である。本手法を用いて約12000点から構成された階調を持つ3次元物体の再生を試みる。

2. 提案手法

本研究では、CGHからの再生像に階調を持たせる方法として、2値化したバイナリホログラムの光の透過率を調整する方法と、ビットプレーンを併用した方法を提案する。

2値化したバイナリホログラムの光の透過率を調整する方法について説明する。従来のバイナリホログラムは白と黒で2値化したものである。SLM(Spatial Light Modulator)の1つである透過型LCD(Liquid Crystal Display)パネルに表示すると白の部分は光を通し黒の部分は光を通さない。

そこで、バイナリホログラムの白を灰色にすることにより、白と黒で2値化したバイナリホログラムより光は通りにくくなる。さらに、白と黒で2値化したバイナリホログラムにおいて白の輝度を徐々に

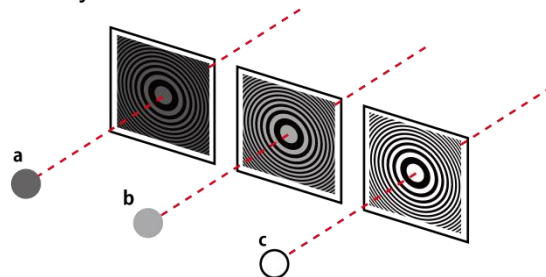


図1: 黒と灰で表現したバイナリホログラムによる階調を持つ像の再生

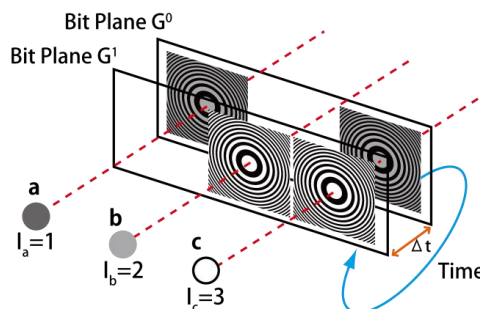


図2: 提案手法

下げ黒に近づけると、図1のように再生像の輝度も低下する。しかし、この方法では、階調の数だけ透過型LCDパネルが必要となり実用的ではない。

そこで、本研究では、ビットプレーンを用いて、透過型LCDパネル1枚で、階調を持つ像の再生を行う。図2は、ビットプレーンを用いて4階調の像を再生する場合を示す。図2において、ビットプレーンによって再生される像a~cの光強度を1~3とする。ビットプレーン G^1 に白と黒で2値化したバイナリホログラムを表示する。また、ビットプレーン G^0 には、灰色と黒で描画したバイナリホログラムを表示する。このとき、ビットプレーン G^0 上のバイナリホログラムは、ビットプレーン G^1 上のバイナリホログラムに比べ、光の透過率は低くなる。

ビットプレーン G^1 上のバイナリホログラムから再生される像の光強度を $2^1=2$ とする。一方、ビットプレーン G^0 上の灰色と黒で描画したバイナリホログラムでは、灰色の輝度を下げて、光強度 $2^0=1$ の像が再生されるように調節する。ビットプレーン G^0 、 G^1 を時分割で次々と再生することにより、図2のように3つの光強度 $I_a \sim I_c$ が1~3の像の再生が可能となる。光強度0の像は2つのビットプレーン上に

[†] 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

[§] 千葉大学大学院工学研究科

[¶] 国立天文台

ホログラムが表示されていない点である。2枚のビットプレーンで4階調の像が再生できる。よって、ビットプレーンの枚数を B とすると、再生される像の階調数は 2^B となることがわかる。

3. 結果

本研究では、図3(a)に示すように1階調あたり 7×7 点で構成された四角形の物体点群を使用した。光っていない点群を含めて8階調で表現される物体点群の再生を試みた。

図4に8階調の像の再生の様子を示す。図3(a)の計算モデルを3枚のビットプレーン G^0 , G^1 , G^2 に分割する。今回の実験では、ビットプレーン G^0 , G^1 , G^2 上の各々のホログラムを、輝度値40, 95, 135の灰色と黒を用いて描画した。最後に、作成した3枚のビットプレーンを高速で次々と切り替えて表示することにより、残像効果により8階調を持つ像の再生を行った。

図3(b)に本手法による再生像を示す。撮影するとき、カメラのレンズを外してセンサーに直接再生像を当てた。カメラのレンズを外して再生像を撮影したため、計算モデルと比べ上下が反転した。撮影において、シャッタースピードを $1/10$ s, ISOを100とした。

図3(b)より、四角形1, 2, ..., 7となるにつれ、輝度が徐々に明るくなっていることが確認された。本手法を用いて8階調で表現される像が再生されていることが確認された。

図5に階調を持つ立体像を示す。計算モデルにStanford Bunny[5]を用いた。計算モデルであるStanford Bunnyの陰面はあらかじめ取り除いた。そのため、物体点数は12,683点となった。8階調の像を再生したときと同様に図5(a)の計算モデルを3枚のビットプレーン G^0 , G^1 , G^2 上のバイナリホログラムを用いて再生する。ビットプレーン G^0 , G^1 , G^2 上の各々のホログラムでは、輝度値135, 185, 255の灰色と黒で描画した。撮影において、シャッタースピードを $1/10$ s, ISOを400, 絞りをF4.0とした。図5(b)に再生像を示す。図5(b)より再生像の明るさが均一ではなく階調が表現されている。

4. まとめ

本研究では、ホログラムの光の透過率を調整したビットプレーンを用いて、階調を持つ3次元映像を再生する方法を提案した。約12000点から構成された3次元物体を使用して、階調を持つ3次元映像の再生に成功した。

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)(課題番号15K00153), 基盤研究(A)(課題番号25240015)および、公益財団法人栢森情報科学振興財団平成25年度研究助成によって行われた。

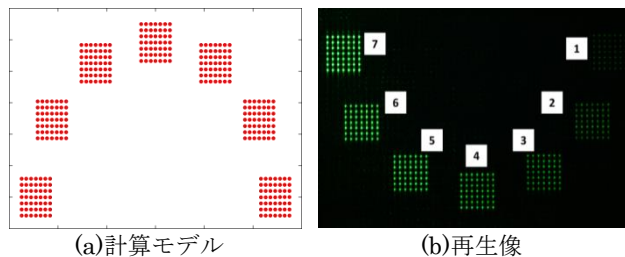


図3:階調を持つ再生像(8階調)

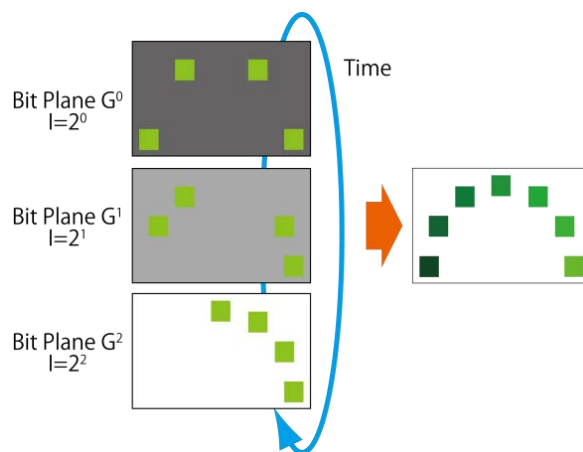


図4:提案手法を用いた階調を持つ像の再生

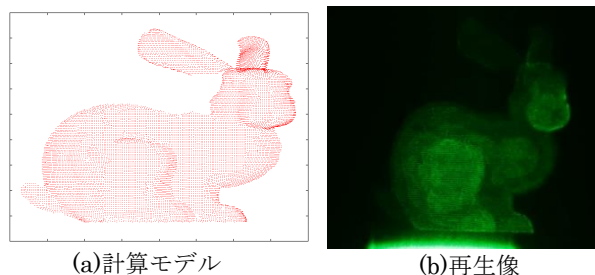


図5:階調を持つ再生像(Stanford Bunny)

参考文献

- [1] H. Niwase, N. Takada, H. Araki, H. Nakayama, A. Sugiyama, T. Kakue, T. Shimobaba, T. Ito, "Realtime spatiotemporal division multiplexing electroholography with a single graphics processing unit utilizing movie features," *Optics Express*, 22, pp.28052–28057 (2014).
- [2] N. Takada, T. Shimobaba, H. Nakayama, A. Shiraki, N. Okada, M. Oikawa, N. Masuda and T. Ito, "Fast highresolution computer-generated hologram computation using multiple graphics processing unit cluster system," *Applied Optics*, 51, pp.7303–7307 (2012).
- [3] 堀越力, 秋元高明, 樋口和人, 曾根原登, "計算機ホログラムの時分割表示", 映像情報メディア学会技術報告, Vol.22, No.43, pp.17-21 (1998).
- [4] Y. Takaki and M. Yokouchi, "Speckle-free and grayscale hologram reconstruction using time-multiplexing technique", *Opt. Express* 19, 7567-7579 (2011).
- [5] Stanford Computer Graphic Laboratory, "Stanford Computer Graphics Laboratory", (<http://graphics.stanford.edu/>).