B-025

階調表現可能な時分割電子ホログラフィにおける 重み付きバイナリ計算機合成ホログラムの効率的な計算手法の検討
Study on Efficient Computation of Binary-Weighted Computer-Generated Hologram for Gradation Representable Time-Division Multiplexing Electroholography

野口 蓮 † Ren Noguchi　鈴木 康平 † Kohei Suzuki　坂口 朋哉 † Tomoya Sakaguchi　三宮廣海 † Hiromi Sannomiya　角江 崇 ‡ Takashi Kakue
下馬場 朋禄 ‡ Tomoyoshi Shimobaba　伊藤 智義 ‡ Tomoyoshi Ito　高田 直樹 § Naoki Takada

1. はじめに

かつて生産されていた 3D テレビでは両眼視差方式が用いられていた．しかし，両眼視差方式では，三次元物体を様々な角度からみることができない．また，視覚疲労を引き起こしてしまう．

一方，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．電子ホログラフィは，将来「究極の三次元テレビ」になるものと考えられている．しかし，電子ホログラフィ[1]に用いる計算機合成ホログラム(CGH)の計算量は膨大であり，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[2-4]．

また，階調を持つ三次元物体を電子ホログラフィで再生することは容易ではない．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用い，複数のビットプレーンを時分割で次々と高速に再生することにより階調を持つ三次元物体を再生する方法を提案した[5-7]．BW-CGH は，光源の明るさを変更することなく，容易に再生像の明るさを自在に調整することが可能である．そのため，カラー再生に応用すると，光源の明るさを変えることなく，色調を変えることが可能である[7]．電子ホログラフィによる再生像の色調補正に役立つものと考えている．

しかし，ビットプレーンを用いて階調を持つ三次元物体を再生する場合，その物体を構成する物体点が複数のビットプレーンから再生されることは頻繁に生じる．文献[5-7]では，その場合，各々の BW-CGH は別々に独立して計算された．そのため，複数の BW-CGH で，同じ物体点の CGH 計算が重複してなされ，余分な計算時間が生じていた．本研究では，複数の BW-CGH を作成する際，重複した物体点の CGH 計算を除去し，計算時間を短縮する．

2. BW-CGH による階調を持つ三次元像の再生

2.1 バイナリ CGH と BW-CGH

図 1 (c)に示される従来のバイナリ CGH は，白と黒の 2 色で表された干渉縞である．バイナリ CGH を空間光変調器(SLM)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，図 1(C)に示すバイナリホログラムの白で塗られた部分を灰色にすることで，黒と灰色で表したバイナリ CGH(図 1(a),(b))を作成する．これは，白と黒で表されたバイナリ CGH(図 1(C))よりも光は通りにくくなる．白と黒で表したバイナリホログラムにおいて白の輝度を徐々に下げ黒に近づけると，再生像の輝度も低下する．灰色の濃さで物体点の輝度を調整することが可能となる．

† 高知大学大学院総合人間自然科学研究科
‡ 千葉大学大学院工学研究院
§ 高知大学教育研究部

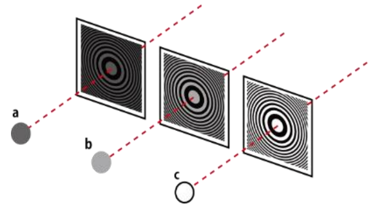

図 1　バイナリ CGH と BW-CGH

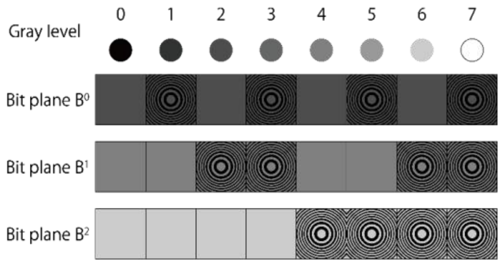

図 2　8 階調を持つ三次元物体の再生

2.2 BW-CGH による階調表現

図 2 は 8 階調を持つ三次元物体点の 3 枚のビットプレーン B^0, B^1, B^2 への割り当て方を示す．図 2 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 5（$=2^1+2^2$）のとき，2 つのビットプレーン B^1, B^2 に割り当てられる．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．

3. BW-CGH の作成

3.1 従来手法 [5-7]

図 3 に，文献[5-7]におけるビットプレーンの作成方法を示す．三次元物体を構成する物体点（P1, P2, P3, …）が持つ輝度値に合わせて，その座標データをビットプレーン

Copyright © 2019 by Information Processing Society of Japan and The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers All rights reserved.

B0,B1,B2 のリスト(List B0, B1, B2)へ割り当てる.各リストに示された物体点データを用いてそれぞれ CGH 計算を行い, ビットプレーン B0,B1,B2 を作成する. しかし,物体点が複数のリストへ割り当てられた場合,その物体点では割り当てられたリストの数と同じ回数の CGH 計算が重複して行なわれ,余分な計算時間を生じることになる.

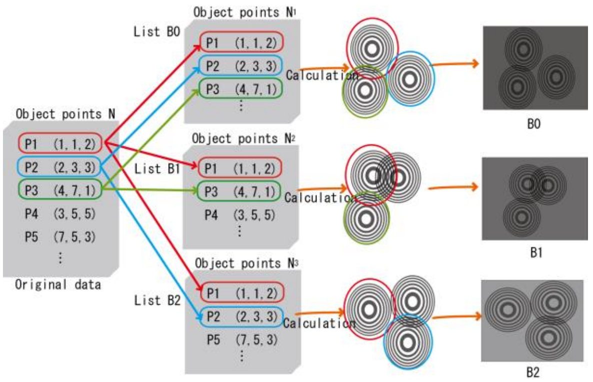

図 3　従来のビットプレーン作成方法

3.2 BW-CGH の重複計算除去

図 4 に BW-CGH の重複計算を除去する方法（提案手法）を示す. 図 4 の物体点データリストに各物体点におけるビットプレーン B0,B1,B2 への割り当てを示すフラグを付与する.各物体点の CGH 計算を行った後,付与されたフラグをもとに各ビットプレーンに, その計算結果を渡す. これにより CGH 計算は各物体点に対して 1 回となり, 従来手法における重複計算が省かれ, 計算時間が短縮される.

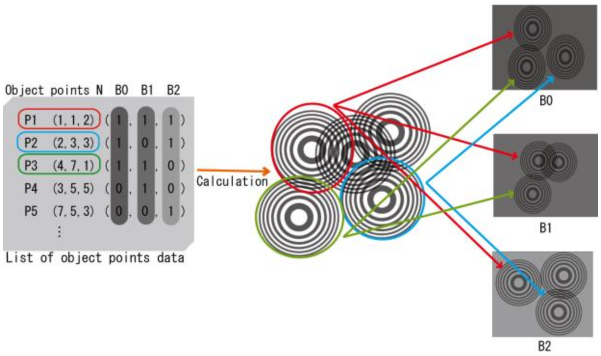

図 4　提案手法（重複計算除去）

4. 結果

計算環境を表 1 に示す. 図 5 に提案手法により再生された階調を持つ三次元物体の動画のスナップショットを示す.再生する三次元モデルは物体点が 4,840 点からなり 8 階調で表現され,「高」,「知」の面で階調が異なる.立方体の上面は,階調の異なる 4 つの三角形から構成される.それぞれの階調を時間に対して変化させて再生した. 図 5 の動画の 1 フレームあたりの表示時間は, 提案手法では 30.55ms, 従来手法では, 59.22ms となっている. ここで, BM-CGH の解像度は 1,920×1,024 である. BW-CGH の重複計算を除去した提案手法は, 従来手法に比べて, 約 2 倍高速化なされている.

表 1　計算環境

CPU	Intel Core i7 4770 (3.4GHz, 4 コア)
GPU	NVIDIA GeForce GTX TITAN X
メインメモリ	DDR3-1600 4 GB（2 GB × 2）
OS	Linux （CentOS 7.1 x86_64）
ソフトウェア	NVIDIA CUDA 7.0, OpenGL

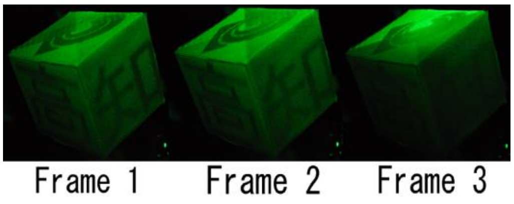

図 5　再生像のスナップショット

5. まとめ

本研究では,BW-CGH の重複計算を除去した効率的な計算方法を提案した. 本手法により,従来手法に比べ約 2 倍の計算高速化を実現した.

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18K11399)および公益財団法人電気通信普及財団平成29年度研究調査助成によって行なわれた.

参考文献

[1] T. Sugie, T. Akamatsu, T. Nishitsuji, R. Hirayama, N. Masuda, H. Nakayama, Y. Ichihashi, A. Shiraki, M.Oikawa, N. Takada, Y. Endo, T. Kakue, T. Shimobaba, and T. Ito, “High-performance parallel computing for nextgeneration holographic imaging,” Nat. Electron. 1, 254–259 (2018).

[2] N. Takada, T. Shimobaba, H. Nakayama, A. Shiraki, N. Okada, M. Oikawa, N. Masuda, T. Ito, "Fast high-resolution computer-generated hologram computation using multiple graphics processing unit cluster system," Applied Optics, Vol.51, Issue 30, pp.7303-7307 (2012).

[3] H. Niwase, N. Takada, H. Araki, H. Nakayama, A. Sugiyama, T. Kakue, T. Shimobaba, T. Ito, "Real-time spatiotemporal division multiplexing electroholography with a single graphics processing unit utilizing movie features," Optics Express, Vol.22, Issue 23, pp.28052-28057 (2014).

[4] H. Niwase, N. Takada, H. Araki, Y. Maeda, M. Fujiwara, H. Nakayama, T. Kakue, T. Shimobaba, T. Ito, "Real-time electroholography using a multiple-graphics processing unit cluster system with a single spatial light modulator and the InfiniBand network," Optical Engineering, Vol. 55, Issue 9, 093108 (2016).

[5] 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).

[6] 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.

[7] 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.

Copyright © 2019 by Information Processing Society of Japan and
The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers
All rights reserved.