

大規模計算機合成ホログラムによる 3 次元立体画像 — 近年の進展 —

Three-Dimensional Imaging by Large-Scale Computer-Generated Hologram: Recent Topics

松島 恭治 (関西大学)

Kyoji Matsushima (Kansai Univ.)

1. はじめに

2010年は3Dテレビ元年と呼ばれる。しかし、映画館やテーマパークを除き、テレビやコンピュータモニタ、ゲーム機等では3D技術が普及したとは言えない状況である。これは、従来の3D技術が両眼による奥行き感覚である両眼視差と輻輳を刺激する一方、単眼で奥行き感が得られる調節や運動視差は刺激しないため、観察距離の短いディスプレイでは特に奥行き感覚の矛盾が生じ、強い違和感や疲労感が生じることが大きな要因であると考えられる。

一方、半世紀以上の歴史を持つホログラフィ技術では、光波そのものを再生するためこのような問題が生じない。旧来型のホログラフィ技術はアナログ写真技術であったが、近年では、コンピュータホログラフィ技術の発達により、40億画素を超えるような大規模な計算機合成ホログラム(Computer-Generated Hologram; CGH)が作成可能となっている¹⁾。これらの大規模CGHでは、深い奥行き3Dシーンが自然な運動視差を伴って再生され、その品質は従来の光学ホログラフィに比肩するまでになっている。そのため、筆者らが2012年に製作し、「Brothers」と名付けた260億画素規模のCGHは、図1に示すように、マサチューセッツ工科大学博物館(MITミュージアム)にて展示¹⁾されるまでになっている⁸⁾。

本稿では、最初の大規模CGHの発表以降の技術の進展について、筆者らの研究を中心に述べる。

2. コンピュータホログラフィにおける空間バンド積問題

信号理論でよく知られるように、空間サンプリング間隔 Δx 、サンプリング数 N の離散信号の空間的広がり $N\Delta x$ 、バンド幅は $1/\Delta x$ で与えられる。従って、その積はサンプリング数 N となる。コンピュータホログラフィでは、空間的広がり $N\Delta x$ は画像サイズ、バンド幅は視域角(視点を動かして3D映像を観察できる範囲)になるため、これらの積がピクセル数に比例する。そのため、大サイズで広視域のCGHは必然的に大規模な画素数を有する必要がある。これが、上述のBrothersが260



図1 MITミュージアムに展示された大規模CGH, 'Brothers'. (a)再生像⁸⁾と(b)展示の様子。

億画素で形成されている理由である。

従って、高品質コンピュータホログラフィにおける各種の手法はこの規模の画素数を前提にしたものでなければならない。

3. ポリゴン法とレンダリング技術

CGと同様のモデルで与えられた物体からの光波を計算するにあたって、多くの研究者は点光源法を用いるが、点光源法は一般に大規模CGHでは計算が遅すぎる問題がある。そこで筆者らは、独自に開発したポリゴン法を用いている⁹⁾。

ポリゴン法の提案当初は、単純な拡散面のフラットシェーディングのみが可能であったが、その後、図2に示すように、フォンの反射モデルに基づく鏡面のフラットシェーディングや²⁾、拡散面のスムーズシェーディングとテクスチャマッピング⁵⁾、鏡面のスムーズシェーディングなど⁷⁾、様々なレンダリング手法が発達している。

4. 隠面消去問題

観察視点の変化に伴って像が変化する運動視差では、前方の物体が後方の物体を覆い隠し、視差変化に伴って隠れた面が出現したり消えたり

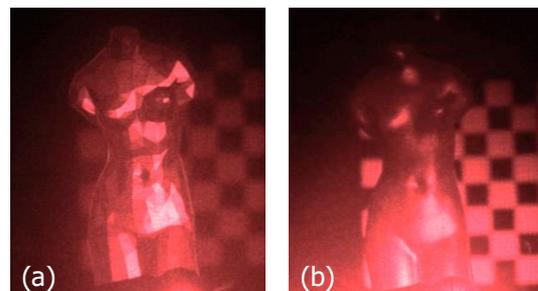


図2 ポリゴン法における鏡面レンダリング。(a)フラットシェーディング²⁾とスムーズシェーディング⁷⁾。

¹⁾ この展示は、2012-2015年の間はCGHの貸与の形で行われたが、その後CGHをMITミュージアムに正式に寄贈した。

するオクルージョンの処理が決定的に重要である。これは、CG における隠面消去とほぼ同様の問題である。

最初の大規模 CGH では、このオクルージョンは物体単位のシルエット法によって近似的に処理されていた¹⁾。しかし、この簡易手法では物体モデル自体にある自己オクルージョンを処理できないという問題

点があった。この問題については、ポリゴン単位のシルエット遮蔽を高速で処理するスイッチバック法が登場して解決されている⁶⁾。図 3 はこの手法で作成された CGH の例である。

5. フルカラー大規模 CGH

一般に 2 次元干渉縞を描画することで作成する CGH では色収差による激しい色にじみが生じるため、白色光では再生できず、単色のカラー再生となる。そこで、図 4 (a) に示すように、干渉縞を空間分割して 3 原色に対応する波長で計算し、分割した干渉縞に対応する RGB カラーフィルタを装着することにより、(b) に示す通り大規模 CGH のフルカラー再生に成功している¹⁰⁾。

6. まとめ

最初の大規模 CGH 作成以来、10 年近くが経過した。レンダリング技術やカラー化技術が大きく進展したが、観察を阻害する共役像や照明光源の問題など未解決の問題も多く、今後はこれらの問題と取り組んでいく必要がある。

謝辞

本研究は日本学術振興会の科研費(15K00512)、および文部科学省私立大学戦略基盤研究形成支援事業(平成 25 年～平成 29 年)の助成を受けたものである。

参考文献

1) K. Matsushima, S. Nakahara, “Extremely high-definition full-parallax computer-generated

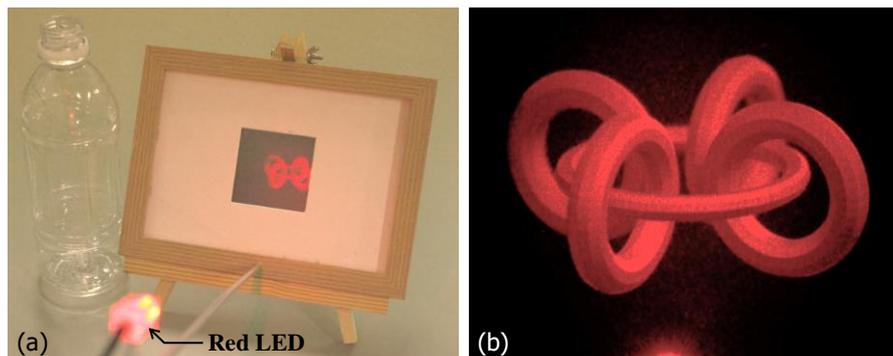


図 3 スwitchバック法によってオクルージョン処理された大規模 CGH⁶⁾. (a) 全体像と (b) クローズアップ写真.

hologram created by the polygon-based method,” Appl. Opt. **48** (2009) H54.

- 2) H. Nishi, K. Matsushima, S. Nakahara, “Rendering of specular surfaces in polygon-based computer-generated holograms,” Appl. Opt. **50** (2011) H245.
- 3) K. Matsushima, Y. Arima, S. Nakahara, “Digitized holography: Modern holography for 3D imaging of virtual and real objects,” Appl. Opt. **50** (2011) H278.
- 4) 松島恭治, 中原住雄, “ポリゴン法による 100 億画素規模の超高解像度コンピュータホログラムの作成,” レーザー研究 **40** (2012) 18.
- 5) K. Matsushima, H. Nishi, S. Nakahara, “Simple wave-field rendering for photorealistic reconstruction in polygon-based high-definition computer holography,” J. Electron. Imaging **21** (2012) 023002.
- 6) 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** (2014) 24450.
- 7) H. Nishi, K. Matsushima, “Rendering of specular curved objects in polygon-based computer holography,” Appl. Opt. **56** (2017) F37.
- 8) K. Matsushima, S. Nakahara, “Stepping closer to the perfect 3D digital image,” SPIE Newsroom (6 Nov. 2012). doi:10.1117/2.1201210.004526
- 9) K. Matsushima, “Computer-generated holograms for three-dimensional surface objects with shade and texture,” Appl. Opt. **44** (2005) 4607.
- 10) Y. Tsuchiyama, K. Matsushima, “Full-color large-scaled computer-generated holograms using RGB color filters,” Opt. Express **25** (2017) 2016.

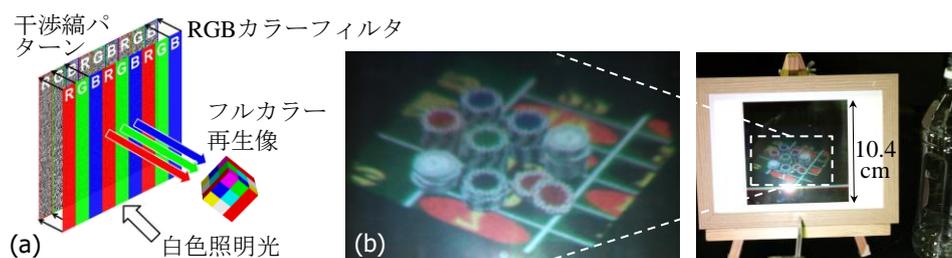


図 4 カラーフィルタ方式のフルカラー大規模 CGH¹⁰⁾. (a) 原理と (b) 再生像.