ポリゴン法物体形成技術およびシルエット法隠面消去技術

により作成した全方向視差計算機合成ホログラム

松島 恭治[†] 中原 住雄[‡]

〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35

E-mail: † matsu@kansai-u.ac.jp, ‡ nakahara@ipcku.kansai-u.ac.jp

あらまし 計算機合成ホログラムにおける物体光波計算には点光源法が多く用いられてきたが、表面モデルで全 方向視差ホログラムを計算した場合長い計算時間を要する点、またオクルージョンが生じるシーンを再生するため の有効な隠面消去法が存在しない点が問題となっていた.本研究では、この問題を解決するため著者らが提案した ポリゴン法物体光波形成技術とシルエット法光波遮蔽技術で計算を行い、レーザーリソグラフィ技術によって 40 億ピクセル規模の全方向視差計算機合成ホログラムの試作を行った.このホログラムの再生像は両眼視が可能であ り、簡易的ではあるが相互オクルージョンのあるシーンを再生するため、従来無かったほどの強い立体感を有する 美しい空間像となっている.

キーワード CGH, ポリゴン法,シルエット法,隠面消去,全方向視差,空間像

A Full-Parallax Computer-Generated Hologram Produced by Using the Polygon Method for Shaping the Object and the Silhouette Method for Hidden-Surface Removal

Kyoji MATSUSHIMA[†] Sumio NAKAHARA[‡]

Department of Electrical and Electronic Engineering, Kansai University
Department of Mechanical Engineering, Kansai University

Yamate-cho 3-3-35, Suita, Osaka, 564-8680 Japan E-mail: † matsu@kansai-u.ac.jp, ‡ nakahara@ipcku.kansai-u.ac.jp

Abstract In the last decades, point-based methods are used for computing the object wave of 3D objects. However, the computation is much time-consuming for shaping surface objects, and furthermore, there is no practical algorithm for light-shielding to reconstruct occluded scenes in full-parallax CGHs. We report a CGH that is calculated by the polygon-based method for forming 3D surface objects and the silhouette method for light-shielding to reconstruct occluded scenes. This CGH, fabricated by using a laser lithography technology, reconstructs the true fine 3D image accompanied by a strong sensation of depth.

Keyword CGH, polygon-based method, silhouette method, hidden-surface removal, full parallax, spatial imaging

1. はじめに

多くの立体画像方式では、人が立体物を認知する 様々な要因の一部のみから生理的・心理的な立体感を 得ているため立体感の矛盾が問題になることが多い. それに対して、ホログラフィは光の波面そのものを再 現して空間像を得るため、このような立体感の矛盾は 生じず、究極の立体画像と呼ばれて久しい.特に仮想 物体の光波を再生する計算機合成ホログラム(以下 CGH)は、ホログラフィにおけるコンピュータグラフィ ックスとも呼べるものであり、将来のディスプレイへ の応用が期待されている.しかしながら、従来の CGH から得られた空間像は、その潜在的な能力の一端を示 すものとは言えなかった.その理由は、十分な画像サ イズと視域を得るためには莫大な解像度が必要であり、 オクルージョンを生じるシーンと表面モデル物体に対 してそのような大規模な全方向視差 CGH の計算を行 うことが困難なためであった.

筆者らはこの様な状況を打破するため,表面モデル 物体からの光波を効率よく計算するための技術として



Fig.1. The Venus ホログラムのシーン

ポリゴン法[1]を提案している. これは従来用いられた 点光源の代わりにポリゴン形状の面光源を用いるもの であり,物体を形成するポリゴンの数が点光源の数に 比べて圧倒的に少なくて済むことから,全方向視差 CGHでは計算時間を大きく短縮できる. そのため,ポ リゴンからの光の発散性やテクスチュアを犠牲にして 筆者らの提案手法をさらに高速化する手法もすでに提 案されている[2,3].また,筆者らは隠面消去やオクル ージョンを再生するため光波遮蔽技術としてシルエッ ト法[4]を提案している.

本研究では、これらの手法にフレームバッファ分割 による大規模計算技術を加味し、レーザーリソグラフ ィ技術で作製した 40 億ピクセル規模の全方向視差 CGH の作成を行った.この CGH が再生する空間像は 両眼視が可能であり、簡易的ではあるが相互オクルー ジョンを示すため、観察者に強い立体感を与えるもの になっている.

2. シーンと物体

"The Venus"と名づけた CGH の構成を Fig.1 に,また 主な仕様を Table 1 に示す.この CGH は $65,536 \times 65,536$ ピクセルからなり,その総ピクセル数は 40 億ピクセル に達する.1 ピクセルは一辺 1 μ m の正方形であるので, CGH の大きさは約 $6.5 \times 6.5 \text{cm}^2$ である.ビーナス像は

Table 1.	作成した	The Venu	s ホロ	グラ	ムの仕様
	11 // • • • =				1 1 1 1 1 1 1

ホログラム	
ピクセル数	65,536 × 65,536
ピクセルピッチ	1 μm × 1 μm
コーディング	2 値振幅型
再生波長	632.8 nm
ビーナス像*	
前面ポリゴン数	718
物理的サイズ (W×H×D)	$26.7 \times 57.8 \times 21.8 \text{ mm}^3$
背景画像	
テクスチュアのピクセル数	256 × 256
物理的サイズ (W×H)	$65.5 \times 65.5 \text{ mm}^2$

*The mesh data of the Venus object is provided courtesy of INRIA by the AIM@SHAPE Shape Repository.



Fig.2 ポリゴン法の計算手順

1396 ポリゴンのメッシュデータで表現されているが, 本研究では表側の 718 ポリゴンのみを計算している. ビーナス像の背後には立体感を増強するために市松模 様の背景画像を配置している.

3. 計算手法

3.1. ポリゴン法による物体光波形成

ポリゴン法は、点光源ではなくポリゴン形状の面光 源光波を計算する手法である[1].例として、三角柱の 上面の三角形ポリゴンの複素振幅分布を求める場合を Fig.2 に示す.この手法では、(a)に示すようにまず各 ポリゴンと同一平面上で表面関数と呼ぶ複素振幅分布 (b)を設定する、それを回転変換[5]およびキャリア周波 数のシフト[1]をおこなうことにより、ホログラムと平 行な面内での光波分布(c)を求めている.最後に各ポリ ゴンの光波を重畳しホログラムと平行な面内で物体光 波(d)を求める.この手法ではポリゴン1枚につき2回 のFFTと1回の補間演算が必要である.

3.2. シルエット法による光波遮蔽

背景画像からの光波とビーナス像の光波を重畳す ることにより CGH 上の全光波を求めるが,そのまま 加算するとビーナス像が半透明となって再生されてし



Fig.3 The Venus でのシルエット法による光波遮蔽

まう. これを避け,相互オクルージョンが生じるシー ンを再生するためには,まずホログラムより最も奥に ある光波を求め,それを物体と交差する平面まで順番 に伝搬し,物体のシルエットで光波を遮蔽する[4].The Venus の場合には,Fig.3(a)に示すとおり,背景画像の 光波を物体平面まで伝搬し,ビーナスのシルエットを マスクとしてそれを遮蔽している.次に(b)と(c)に示す とおりビーナス像自体の光波をそれに加算し,ホログ ラム面まで再度伝搬している.なお,本研究では分割 伝搬計算のためにシフトフレネル法[6]を用いている.

4. 計算と作製

AMD Opteron 852 (2.6GHz)プロセッサ 4 個と 32GB のメインメモリを搭載した PC を用いて The Venus ホロ グラムの計算を行った.ソフトウェアは我々が開発し た波動光学計算ライブラリ WaveField を用いて実装し, FFT パッケージとしては Intel MKL を用いている.そ の結果, The Venus の総計算時間は約 45 時間であった. 計算時間の内訳を Fig.4 に示す.およそ 80%が分割伝 搬計算に費やされていることがわかる.

このようにして求めた物体光波 O と平面波参照光 R が干渉したと考え, $Re\{OR^*\}$ を閾値ゼロで 2 値化して ホログラム干渉 縞を求めた. これを Heidelberg Instruments 社製の DWL-66 レーザーリソグラフィシス



Fig.4 計算時間の内訳

テムを用いてクロム膜付き石英基板上のフォトレジス トにパターン描画し,現像後にクロム膜をエッチング することにより振幅変調型ホログラムを作製した.

5. 光学再生像とまとめ

作製した CGH はクロム膜の高い反射率により反射 型としても透過型としても再生できる.光学再生した The Venus の空間像を,アングルを変えて撮影した結 果を Fig.5 に示す.オクルージョンが生じるシーンに 対して明確な運動視差を再生しており,強い立体感を 与える完全な空間像を再生していることがわかる.

本研究は日本学術振興会の科研費(21500114)の助成 を受けたものである.

文 献

- [1] K. Matsushima, "Computer-generated holograms for three-dimensional surface objects with shade and texture," Appl. Opt. 44, pp.4607-4614 (2005)
- [2] L. Ahrenberg, P. Benzie, M. Magnor, and J. Watson: "Computer generated holograms from three dimensional meshes using an analytic light transport model," Appl. Opt. 47, pp.1567–1574 (2008)
- [3] H. Kim, J. Hahn, and B. Lee: "Mathematical modeling of triangle-mesh-modeled three-dimensional surface objects for digital holography," Appl. Opt. 47, pp.D117-D127 (2008).
- [4] 近藤, 松島, "シルエット近似を用いた全方向視差 CGH の 隠 面 消 去 ," 信 学 論 , J87-D-II, pp.1487-1494 (2004)
- [5] K. Matsushima, "Formulation of the rotational transformation of wave fields and their application to digital holography," Appl. Opt. 47, pp.D110–D116 (2008)
- [6] R. P. Muffoletto, J. M. Tyler, and J. E. Tohline,: "Shifted Fresnel diffraction for computational holography," Opt. Express 15, pp.5631–5640 (2007)



Fig.5. 作製した The Venus ホログラムの空間像を異なったアングルから撮影した写真