

山岳風景を再生する超高解像度 CGH の合成

東 健太郎[†] 西 寛仁[†] 松島恭治[†] 中原住雄[‡]

[†] 関西大学 システム理工学部 電気電子情報工学科

[‡] 関西大学 システム理工学部 機械工学科

〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35

E-mail: [†] higashi@laser.ee.kansai-u.ac.jp, [†] matsu@kansai-u.ac.jp

あらまし ポリゴン法を用いた超高解像度 CGH は、シルエット法による光波遮蔽により強い立体感を与える自然な空間像を再生する特徴がある。しかし、物体が自己オクルージョンの生じる複雑な形状を有する場合、シルエット法によるその隠面消去処理は容易ではなく、また広がりのある単一の物体を計算することも容易ではない。本研究では、陸地の 3D シーンを生成するソフトである Terragen が生成するメッシュデータを分割処理することにより、山岳風景を再生する CGH の作成を試みた。

キーワード CGH, 自己オクルージョン, 隠面消去, シルエット法, ポリゴン法, 分割処理

Creation of a high-definition CGH reconstructing mountain scenery

Kentaro HIGASHI[†] Hirohito NISHI[†] 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: higashi@laser.ee.kansai-u.ac.jp, matsu@kansai-u.ac.jp

Abstract High-definition CGH, created by the polygon-based method, features the reconstruction of spatial 3D images accompanied with a strong sensation of depth because of light-shielding by the Silhouette method. However, hidden-surface removal by the Silhouette method is not easy in self-occluded and uninterrupted large objects such as landscapes like a miniature garden. In this study, a CGH that reconstructs the mountains scenery is created by splitting the mesh data of the scenery generated by Terragen that is a software for generating the 3D scene of a landscape.

Keyword CGH, self-occlusion, hidden-surface removal, silhouette method, polygon method, object splitting

1. はじめに

近年、3D テレビが発売され市場を賑わせている。しかし、これらの立体画像方式は、人が立体感を得るための 3 大要素である輻輳、両眼視差、焦点調整を完全に満たすものではない。そのため、立体感の矛盾から長時間の視聴において疲労感が生じてしまう。一方、ホログラフィは光の波面そのものを再生する技術であるため、そ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る。

実在しない仮想物体からホログラム干渉縞パターンを数値的に合成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る。我々はポリゴン法とシルエット法を用いて計算した物体光波から光リソグラフィ技術によって高解像度の CGH を作成し、"The

Venus"[1][2]や"Aqua 2"[3]など強い立体感を与える幾つかの CGH 作品をすでに報告している。これらの作品はすべて自己オクルージョンがほとんど生じない少数の簡単な形状の物体を配置した 3D シーンの CGH となっており、物体間の相互オクルージョンをシルエット法で処理することにより強い立体感を得ている。これは、物体自体が自己オクルージョンを生じる複雑な形状である場合その隠面消去が困難であり、計算時間も莫大となってしまうため、そのような物体を避けたデザインを行ってきたためである。

そこで本研究では、単一の複雑な形状をした物体によるシーンを再生する CGH を作成する手法を提案する。具体的には、Terragen [4]と呼ばれるソフトによって発生させた仮想の陸地のメッシュデータから箱庭的な山岳風景を再生する CGH の作成を試みた。

2. 物体の分割によるオクルージョンの処理と計算時間の短縮

光波の数値合成には、表面モデル物体からの光波を効率よく計算するためにポリゴン法[5]を用いている。また、光波遮蔽技術としてはシルエット法[6]を用いているが、超高解像度 CGH の場合にはピクセル数が膨大であることから、計算時間の短縮のため、ポリゴン単位でシルエット処理を行うのではなく物体全体のシルエットをマスクとすることで遮蔽処理を行っている。

Fig. 1(a)に示すとおり、ポリゴン法では物体 O_1 を構成するポリゴンの内、背面向きではないポリゴンからの光波を物体平面 V_1 上で計算する。またシルエット法では、物体 O_1 の背面より入射する光波を平面 V_1 に射影した物体のシルエットをマスクとして遮蔽する。正確にはまず背面入射光波を V_1 上で計算してマスク処理を行い、次に物体 O_1 の光波をこれに加算する。

そのため、例えば、物体が Fig. 1 (b)のような自己オクルージョンを生じる物体である場合、入射光波は物体のシルエットマスクで遮蔽できるものの、物体を構成するポリゴンで前面側を向くものはその全てが物体平面上で計算されてしまう。そのため、そのホログラムの再生像は、本来隠れた部分も透けて見えるファントムイメージになってしまう。

そこで、Fig. 1(c)のようにオクルージョンが生じると思われる位置で物体を分割し、 O_2 と O_3 の2つの物体として扱い、それぞれについてマスク処理を行う。そうすることで、後方の物体 O_2 の光波を前方の物体

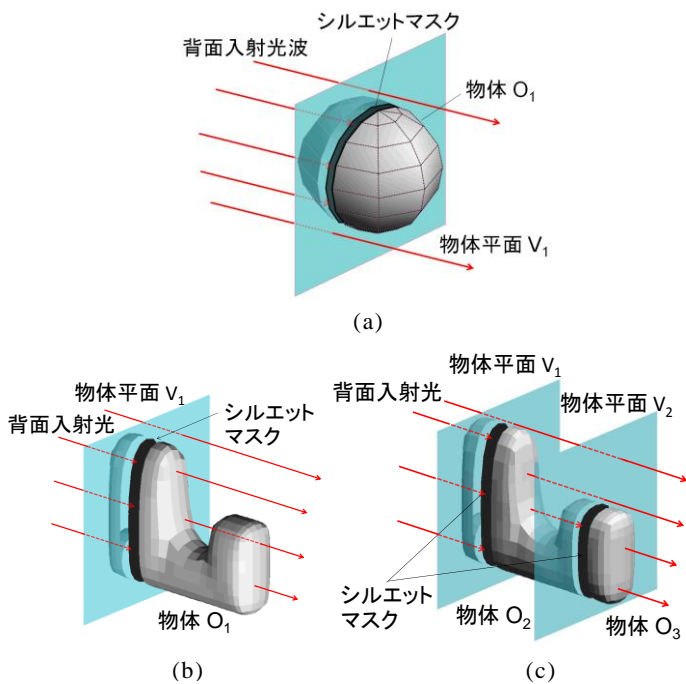


Fig.1 分割処理によるシルエット遮蔽

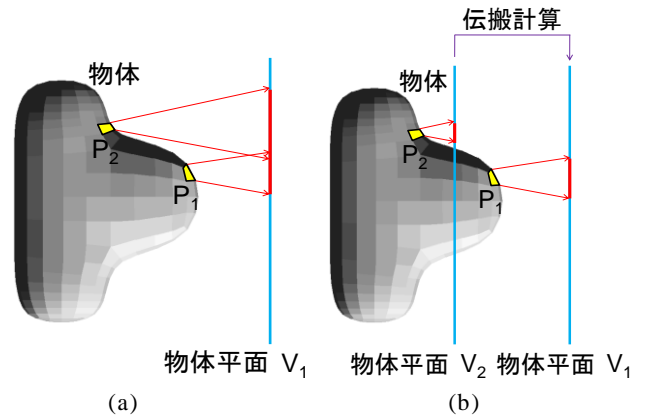


Fig.2. 分割処理による物体光波計算時間の短縮

O_3 のシルエットマスクで遮蔽することが可能になる。

もう一つの問題として、大きく広がった単一の物体をポリゴン法で計算する場合、ポリゴンの位置と光波を計算する物体平面の位置が離れていると著しく計算時間が増加する問題がある[1]。その例を Fig. 2(a)に示す。今、平面 V_1 上で物体光波を求めるとする。物体を構成するポリゴン P_1 からの光波はこの平面との距離が近くあまり回折しないためポリゴン光波の計算量が少なく済む。しかし、平面 V_1 から遠いポリゴン P_2 からの光波は V_1 上では大きな面積を持つため必要なメモリサイズと計算時間が著しく増加する。従って、奥行き方向に広がった物体を扱う場合には、物体光波の計算に非常に時間を要し、またメモリ容量の問題で計算が実行できない場合もあり得る。

この問題は、物体を幾つかに分割して各物体の光波を計算することで緩和することができる。この例が Fig. 2(b)である。物体を平面 V_2 で分割することで、ポリゴン P_2 と V_2 との距離を短くできる。従って P_2 からの物体光波の回折の広がり小さくなり、計算時間の短縮が可能となる。ただし、 V_2 上で求めた光波は V_1 まで伝搬計算して V_1 上で求めた光波と加算する必要があるため、分割数を増やしても必ずしも計算時間が減少するとは限らない。そこで、分割数に対して光波の計算時間がどのように変化するかについても調べた。

以上の手法を用いて、本研究では複雑な形状として山岳風景を選び、窓から覗いたような風景の CGH の作成を試みた。

3. シーンと物体

“Mountain”と名づけた CGH のシーンを Fig. 3 に、また主な仕様を Table 1 に示す。物体モデルは、Terragen で発生したメッシュデータである。ただし、Terragen が発生するメッシュではポリゴン数が多すぎるため、モデリングソフトである Metasequoia を使ってポリゴン数を 1979 ポリゴンまで減らしている。

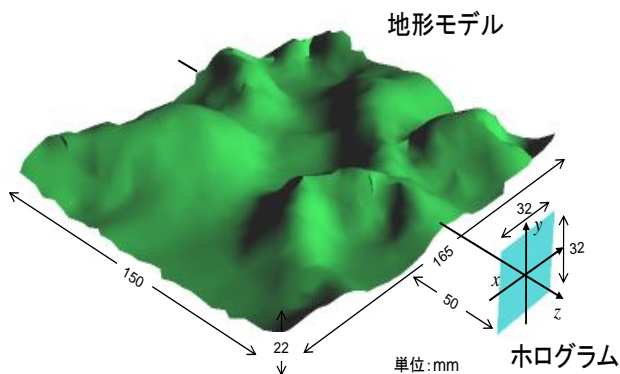


Fig.3. Mountain ホログラムの3D シーン

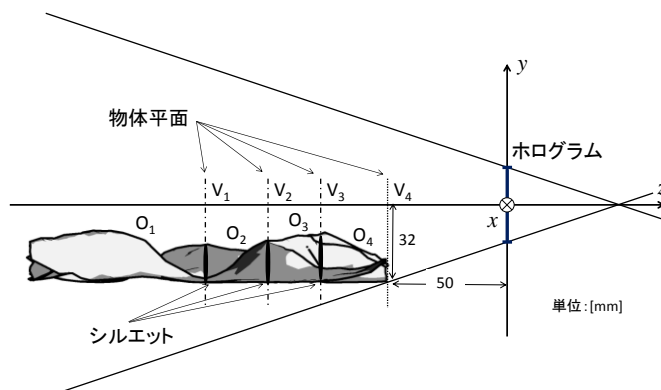


Fig.5. 3D シーンの側面図

Table 1. 作成した Mountain ホログラムの仕様

ホログラム	
ピクセル数	32,768 × 32,768
ピクセルピッチ	1 μ m × 1 μ m
コーディング	2 値振幅型
再生波長	632.8nm
地形モデル	
前面ポリゴン数	919
物体サイズ (W×H×D)	165 × 150 × 50 mm ³

地形メッシュデータの上面図を Fig. 4 に、また側面図を Fig. 5 に示す. 物体の物理的サイズは, Fig. 4 に示すように, 最大回折角を考慮してホログラム再生像の視野を覆うようなサイズを設定した. この CGH のピクセルピッチは 1 μ m であるため, 赤色で再生した場合の最大回折角は $\theta_{\max} = 18.5$ 度となる. CGH の大きさは約 3.2 × 3.2 cm² であるため, 地形の幅を 165 mm, 奥行きを 150 mm とし, ホログラムから 50 mm 離して配置した. ホログラムの窓から地形を見下ろすようなデザインとするため, Fig. 5 に示すとおり, 地形データの底面が視野ぎりぎりの位置になるように, 底面高さを $y = -32$ mm に設定した.

4. 地形の分割と光波のセグメント分割

地形メッシュデータには自己オクルージョンがあ

るので, 2 節で述べたとおり, 物体データを分割してシルエットマスク処理を行う. 本研究で分割した位置を Fig. 6 に示す. 現状では, 分割位置を自動的に決定することは難しいため, マスクを入れた方が良くと思われる位置を Metasequoia 上で人間がマークし, それを読み取って物体の分割処理を行っている.

分割されたそれぞれの物体を奥から順に $O_1 \sim O_4$ とすると, それぞれの奥行きの幅は 74mm, 26mm, 22mm, 28mm となる. O_1 は O_2, O_3, O_4 と比べ非常に大きな物体になっているため, 2 節で述べたとおり, 物体光波の計算時間と必要なメモリを削減するため, O_1 についてのみ複数の物体に再分割を試みた.

Fig. 4 に示すとおり, 最奥ではピクセル数に換算した地形の幅は 165,000 のピクセルとなる. このような大規模な光波の伝搬計算を行うには, 分割フレームバッファが必要である [1,2]. 本研究では, ホログラムサイズの光波 (32×32mm²) を 1 セグメントとして分割伝搬計算を行なった. 物体モデルの高さは 22mm であるため, y 軸方向に関してははすべて 1 セグメントの高さで計算可能であるが, x 軸方向に関してはホログラムから遠ざかるにつれフレームバッファのピクセル数を大きくとる必要がある. 従って, $V_1 \sim V_4$ 面でそれぞれ, 4, 4, 3, 3 セグメントに相当する幅のフレームバッファを用い, シフト角スペクトル法 [7] で計算を行った.

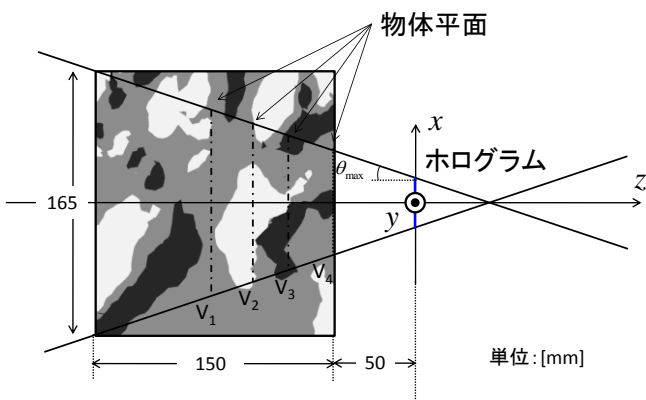


Fig.4. 3D シーンの上図

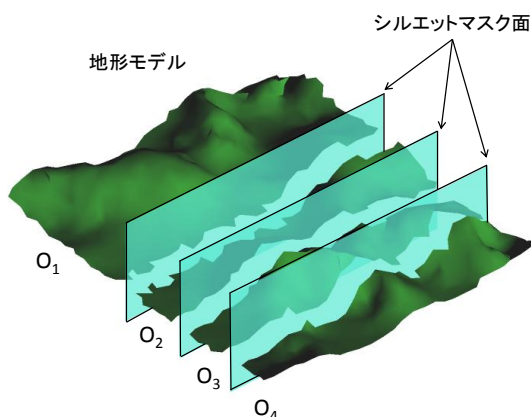


Fig.6. 3D シーンの分割

なお, 物体 O_1 を再分割した場合の物体平面のセグメント数はすべて V_1 と同じ 4 セグメントとしている。

5. 物体分割数に対する計算時間の測定

物体 O_1 の分割数を変え, Table 2 に示す計算機を用いて計算時間がどのように変化するか調べた。しかし, 様々な分割数について本来のピクセルサイズ $32K \times 32K$ で計算時間を測定することは難しいため, 縮小モデルである $1/8$ モデル ($4K \times 4K$) と $1/4$ モデル ($8K \times 8K$) を用いて分割数を 1~5 に変化して物体光波の計算時間を測定した。ここで, 分割数とは分割後の物体 O_1 の個数である。測定結果を Fig.7 に示す。この結果から, 分割数が 2 の時に計算時間が最小となり, 分割を行わない場合に比べ約 3 割計算時間を短縮できることがわかった。またそれ以上分割数を増やしても計算時間はほとんど変わらないことがわかった。

なお, 本来のサイズでは, 分割数 1 ではメモリ不足のため計算を完了できず, 分割数 2 とすることで, 3 コアで約 26 時間で計算を実行することができた。

6. 再生シミュレーションの結果

計算したホログラムの波動光学的シミュレーション再生[8]を行った。結果を Fig. 8 に示す。これは, 注視点を地形の中央とし, わずかにパードビューとするため視点の高さを 22 mm としてホログラムから 300 mm 離れた位置から水平方向に ± 22 mm 視点位置を変えたシミュレーション結果である。

7. まとめ

本研究では自己オクルージョンを含む広がりのある山岳風景の CGH を計算した。本来, そのような奥行きのある物体の CGH を作成するためには長時間の計

Table 2. 計算時間測定に用いた計算機

CPU	Xeon K7330 (QuadCore)×4 2.4GHz
メモリ	96GByte
使用コア数	15

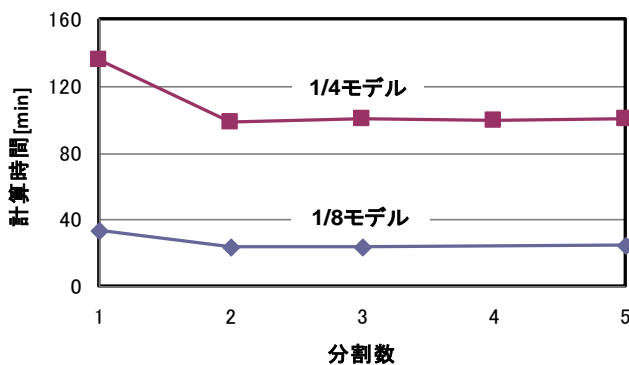


Fig.7. O_1 の分割数に対する計算時間

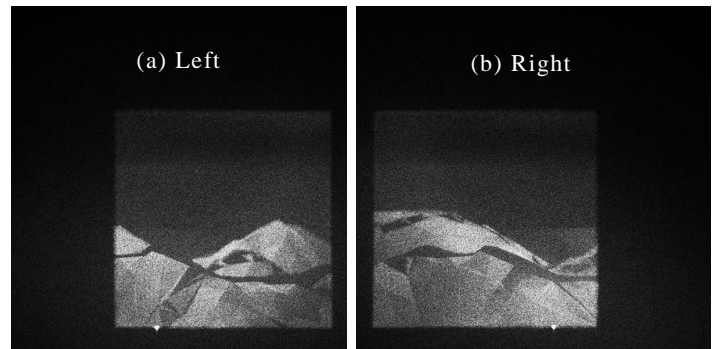


Fig.8. シミュレーション再生像

算時間を要することや, 隠面除去が困難である問題があった。しかし, 物体を奥行き方向に幾つかに分割することでこれらの問題を緩和し, 高解像度の CGH が計算できることを確認した。

謝辞

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, S. Nakahara: “Extremely high-definition full-parallax computer-generated hologram created by the polygon-based method,” Appl. Opt. **48**, No.34, H54-H63(2009).
- [2] 松島, 中原: “ポリゴン法による大規模な全方向視差 CGH 作成のための分割計算手法”, 3次元画像コンファレンス 2009 講演論文集, 61-64(2009).
- [3] 中村, 松島, 中原: “スパースな 3D シーンを有する超高解像度 CGH における隠面除去の高速化”, 3次元画像コンファレンス 2010, 17-20(2010).
- [4] PlanetSide Software, <http://www.planetside.co.uk/>
- [5] K. Matsushima: “Computer-generated holograms for three-dimensional surface objects with shade and texture”, Appl. Opt. **44**, 4607-4614(2005).
- [6] 近藤, 松島: “シルエット近似を用いた全方向視差 CGH の隠面除去”, 信学論 **J87-D-II**, 1487-1494(2004).
- [7] K. Matsushima: “Shifted angular spectrum method for off-axis numerical propagation”, Opt. Express **18**, 18453-18463(2010).
- [8] 村上, 松島: 計算機合成ホログラムの波動光学的再生シミュレーション, HODIC Circular **29**, No. 3, 7-10(2009).