

山岳風景を再生する超高解像度 CGH の 分散処理による合成

Creation of a high-definition CGH reconstructing great mountain scenery by distributed computing

東健太郎¹, 小川晃平¹, 西寛仁¹, 松島恭治¹, 中原住雄²

Kentarou Higashi¹, Kouhei Ogawa¹, Hirohito Nishi¹, Kyoji Matushima¹, Sumio Nakahara²

¹ 関西大学システム理工学部 電気電子情報工学科

¹Department of Electrical and Electronic Engineering, Kansai University

² 関西大学 システム理工学部 機械工学科

²Department of Mechanical Engineering, Kansai University

ABSTRACT

Techniques are presented for creating an interesting large-scale CGH. This high-definition CGH, created by the polygon-based method, reconstructs great mountain scenery as if viewers see the landscape through an actual window. The object reconstructed by the CGH is a terrain that has a much larger size than the hologram itself and self-occlusion. Therefore, a long computation time and some method to handle the occlusion are required for computing the object field. This is why it is difficult to create this kind of CGHs. To create the target CGH, the technique of object splitting is proposed for accelerating computation by polygon-based method and light-shielding by masks whose shapes agree with the cross section of the terrain. Furthermore, parallel processing of memory distributed model plays an important role to perform and speedup numerical propagation of extremely large-scaled wave-fields.

Keywords: CGH, 自己オクルージョン, 隠面消去, 分割処理, 分散処理

1. はじめに

我々は、これまでポリゴン法による表面モデル物体光波合成技術やシルエット法による光波遮蔽技術を用いて“*The Venus*” [1]や“*Aqua2*”など強い立体感を与える幾つかのCGH作品を報告してきた。しかし、それらはいずれも自己オクルージョンがほとんど生じない小さな物体を少数配置した3Dシーンから構成されていた。その理由として、奥行きと広がりのあるひとつながりの大きな物体の光波を計算するためには、莫大な時間とメモリ量が必要となることが挙げられる。また、物体自体がオクルージョンを持つ複雑な形状である場合、従来のシルエット法では隠面消去が困難であるという問題点があった。我々は、風景のよ

うに広がりのある巨大な物体モデルにおいてオクルージョンが発生する位置で物体モデルの分割処理を行いその断面をマスクとして光波を遮蔽する手法を用い、1Gピクセル程度の小規模な高解像度CGHを既に報告している[2,3]。しかしこれでも非常に長い計算時間がかかり、本格的な超高解像度CGHを実用的な時間内で合成することは困難であった。これは主に、超高解像度CGHの計算で用いるセグメント分割伝搬計算に莫大な計算時間を要することが問題であった。

そこで本研究では、メモリ分散型の並列処理によって伝搬計算を行うことにより、従来不可能であったような巨大な物体モデルに対する超高解像度CGHの作成をおこなった結果について報告する。

2. シーンと物体

広がりのある巨大な物体モデルとして我々は山岳風景を選択した。“*Mountain2*”と名付けたCGH

東健太郎

higashi@laser.ee.kansai-u.ac.jp

関西大学システム理工学部電気電子情報工学科

〒565-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35

TEL 06-6368-1121(内線 5722)

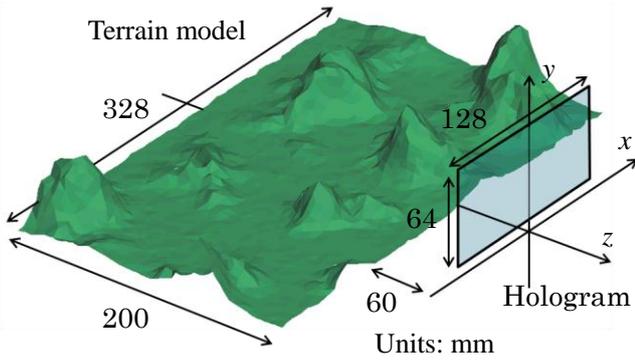


Fig.1 3D scene of "Mountain2" Hologram.

Table 1 Parameters for creating "Mountain2"

Hologram	
No. of pixels	131,072 × 65,536
Pixel pitches	1μm × 1μm
Type	Binary amplitude
Wavelength	632.8 nm
Object model	
No. of polygon (front face)	1894
Sizes (W×H×D)	328 × 44 × 200 mm ³

のシーンを Fig.1 に、また主なパラメータを Table. 1 に示す. 物体モデルは、地形生成ソフト Terragen [4]を用いて生成した. しかし、Terragen で発生するメッシュではポリゴン数が多すぎるため、CGモデリングソフトである Metasequoia を用いてポリゴン数を約 4000 ポリゴンまで減らしている. 地形メッシュデータの上面図を Fig.2 に、また側面図を Fig.3 に示す.

物体の物理サイズは、Fig.2 に示すように、最大回折角を考慮してホログラム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 μm であるため、赤色(633nm)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 12×6 cm² であるため、地形の幅を 328 mm、奥行きを 200 mm とし、ホログラムから 60 mm 離して配置した. また、Fig.3 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、底面の高さを $y=-52$ mm に設定した. このように、ホログラムという窓を通して山岳風景を見渡せるようなシーンを想定して 3D シーンをデザインした.

3. 物体の分割による隠面消去処理と物体光波計算時間の短縮

山岳風景は、自己オクルージョンを有する複雑な形状をしている. そのため、物体を遮蔽単位とした従来のシルエット法では自己オクルージョン

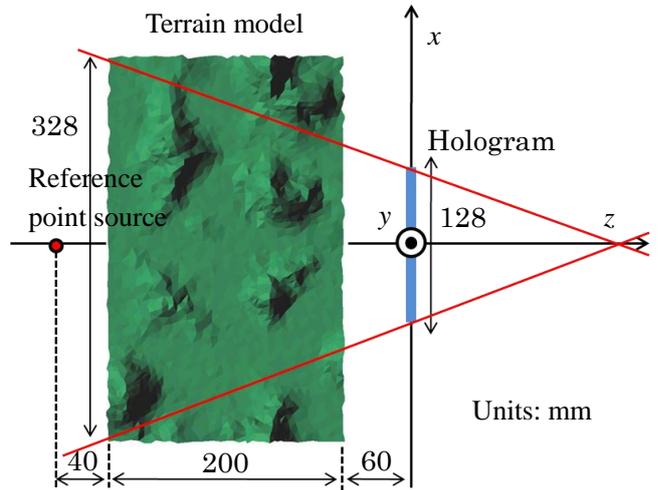


Fig.2 Top view of 3D scene.

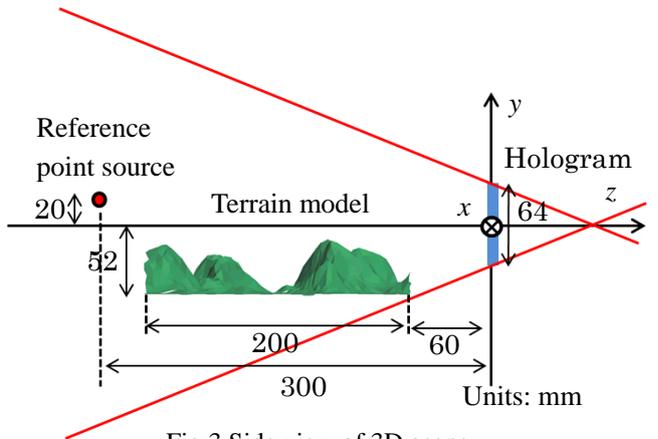


Fig.3 Side view of 3D scene.

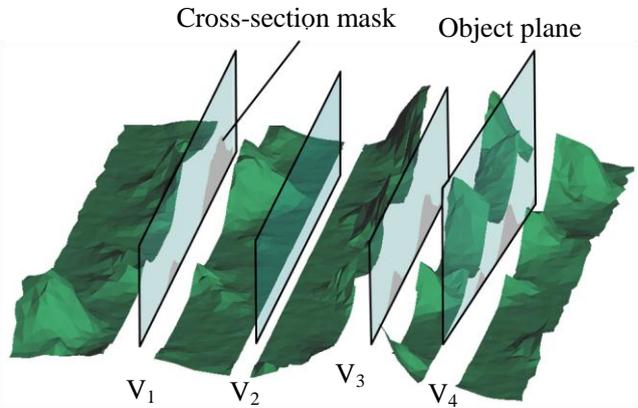


Fig.4 Splitted 3D scene.

が処理できない. そこで、物体(地形)のメッシュデータを複数に分割してその断面形状のシルエットマスクを挿入することで光波遮蔽を行っている. 具体的には、Fig.4 のように山岳風景の峰の位置で地形のメッシュデータを 5 つに分割し、その断面形状をマスクとして後方の物体からの光波を遮蔽することで高速な隠面消去を可能としている.

また、山岳風景のように大きく広がった単一の物体光波を計算する場合、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. この問題について

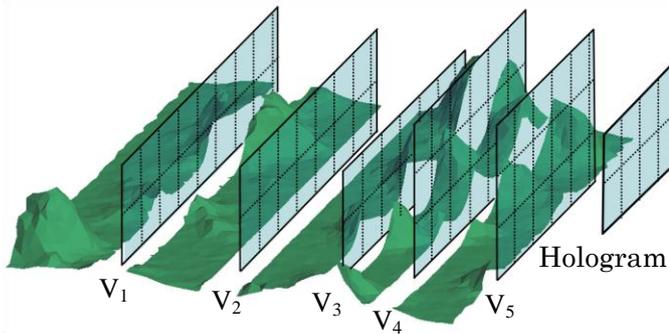


Fig.5 Segmentation of frame buffers for each object plane in that intermediate wave-fields are computed.

ても、マスク挿入が不要な場合でも物体分割を行なって物体平面を追加することで、物体と物体平面との距離を短くし、光波の広がりを抑え、計算時間の短縮を行っている。Fig.4 においては物体平面 V_2 がそれにあたる。なお、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いいと思われる位置を 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。

4. 光波のセグメント分割

最大回折角から光波の広がりを考慮した場合に、必要となる物体平面の幅は最奥の物体平面 V_1 で 267mm となり、ピクセル数に換算した場合には 267,000 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。Fig.5 に示すように、本研究では、1 セグメントを 32K×32K サイズとして、ホログラムを 4×2 セグメントに分割して計算している。また、物体平面に関しても同様に 32K×32K サイズを 1 セグメントとして分割計算を行っている。

y 軸方向に関しては、風景を見下ろすような位置に視点を置いた場合でもシーン後方の地形からの光波が全て視点到達するように $V_1 \sim V_3$ は 2 セグメント、 V_4, V_5 は 3 セグメントとして分割伝搬計算を行った。

また x 軸方向に関しては、ホログラムから遠ざかるにつれ見える範囲が広がるので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、 $V_1 \sim V_5$ 面でそれぞれ 9, 8, 7, 6, 6 セグメントの物体平面を設定し、シフト角スペクトル法[5]により計算を行った。しかし、1 セグメントのサイズが大きいため視野ぎりぎりの範囲を超過し余分な計算領域が生じやすい。そこで、視野の範囲を大きく上回る場合には、32K ピクセル未満のピクセル数をもつセグメントを 1 列用いることで、視域外の物体からの余分な光波計算を減らしてい

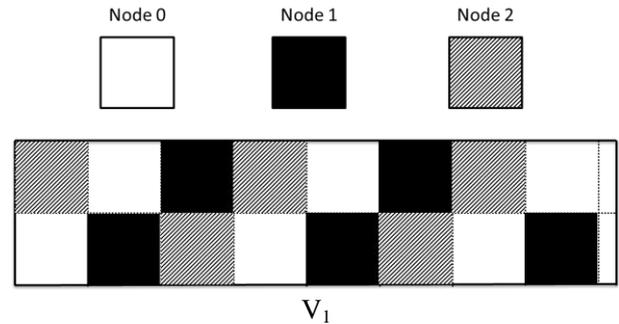


Fig.6 An example of node allocation.

Table 2 Specifications of nodes.

Node	CPU	Total no. of cores	RAM
0	Intel Xeon X5680 3.33GHz, 2 CPU	48	144GB
1	Intel Xeon E7540 2.00GHz, 4 CPU	24	256GB
2	Intel Xeon E7330 2.40GHz, 4 CPU	16	88GB

る。具体的には、 V_1, V_2, V_5 については 8K ピクセル、 V_3 については 16K ピクセルのセグメントを 1 列分用いている。

5. メモリ分散処理による CGH の合成

本研究では、メッセージパッシングインターフェース(Message Passing Interface, 以下 MPI)ライブラリの実装である MPICH2 を用いて計算の分散処理を行った。MPI による分散処理では各計算機はノードと呼ばれ、各ノードにはランクと呼ばれる固有の番号が割り当てられる。本研究では Table 2 に示す 3 台のノードを用いて分散処理を行った。

各平面の分割フレームバッファはそれぞれ複数のセグメントにより構成されており、1 つの分割フレームバッファ上の各セグメントの計算は互いに独立している。そこで、各平面上の計算においてセグメントを各ノードに割り当て、並列に計算を行った。ここで、各ノードの性能がかなり異なっているため、計算時間を均等にするために x 軸方向のピクセル数が 32K ピクセル未満のセグメントはすべて処理速度の早いノードに割り当てた。

例として、 V_1 面における計算の分散処理手順について述べる。まず、Fig.6 に示すように、分割フレームバッファをセグメント単位でサイクリック分割を行う。次に、割り当てられたセグメントにおける計算を各ノードで行う。また、 V_2 面での計算には V_1 面のすべてのセグメントのデータが必要となるため、ノード間でデータの送受信を行い V_1 面の分割フレームバッファを全ノードが得る

ことで V_1 面における計算の分散処理が完了する。この計算を奥の平面から手前の平面へと繰り返し行い、ホログラム面においても同様の計算をすることで分散処理による CGH の合成を行った。

以上の最適化の結果、ホログラムの合成に必要な総計算時間は約 85 時間となり、以前報告した計算時間 26 時間の“Mountain”に対して約 3 倍の計算時間となった。しかし、Mountain2 は Mountain に対してホログラム面積比で 8 倍、地形面積比で 2.6 倍の規模がある。計算量は大雑把にはこれらの積に比例するため、およそ 20 倍の計算量と見積もられる。従って、分散処理が計算時間短縮に大きく貢献していることがわかる。

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[6]を行った。結果を Fig.6 に示す。これは、注視点を地形の中央とし、わずかにバードビューとするため視点の高さを 45 mm としてホログラムから 50 cm 離れた位置から水平方向に (a)-68 mm から (c)+68 mm まで 68 mm ずつ水平方向に視点位置を変えたシミュレーション結果である。この結果から、後方の山が前方の山に透けて見えるファントムイメージとなっていないことが確認できる。

この結果からわかるとおり、ホログラムという「窓」を通してどこまでも広がった風景が再生されるコンピュータホログラムとなっていることがわかる。

7. まとめ

山岳風景のような連続的なひとつながりの巨大物体を再生するような CGH を合成は、その隠面除去処理の難しさと長い計算時間から困難であった。本研究では、物体分割と断面マスク処理、また複数の計算機を用いたメモリ分散型の並列処理を行うことで、物体光波の計算と伝搬にかかる時間を短縮し、オクルージョンを再生する大規模な超高解像度 CGH を作成することができた。

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。

参考文献

- [1] K. Matsushima, S. Nakahara: “Extremely High-Definition Full-Parallax Computer-Generated Hologram Created by the Polygon-Based Method”, *Appl. Opt.* **48**, H54-H63 (2009).
- [2] 東, 西, 松島, 中原: “山岳風景を再生する超高解像度 CGH の合成”, *HODIC Circular* **30**, No. 3, 9-12(2010).
- [3] H. Nishi, K. Higashi, Y. Arima, K. Matsushima, S. Nakahara: “New techniques for wave-field rendering of polygon-based high-definition CGHs”, *SPIE Proc.* #7957, 79571A (2011).
- [4] <http://www.planetside.co.uk/>
- [5] K. Matsushima: “Shifted angular spectrum method for off-axis numerical propagation”, *Opt. Express* **18**, 18453-18463 (2010).
- [6] 村上, 圓山, 松島: “全方向視差 CGH の波動光学的再生シミュレーション”, 3次元画像コンファレンス 2009, 105-108 (2009).

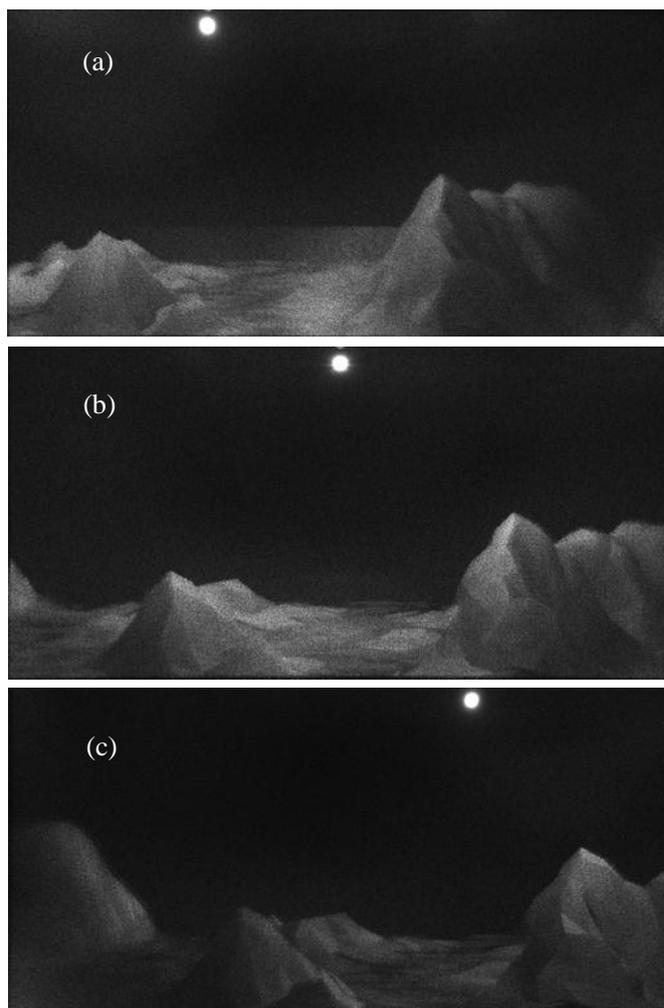


Fig.6 Simulated reconstruction of "Mountain2" hologram. View-points are changed from left (a) to right(c).