

スパースな 3D シーンを再生する広視野な 全方向視差高解像度 CGH の計算法

北谷 海翔 西 寛仁 松島 恭治

関西大学 システム理工学部 電気電子情報工学科

〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35

E-mail: k339399@kansai-u.ac.jp (北谷)

あらまし 全方向視差高解像度 CGH では、CGH の奥側に大きく広がった視野内に大きな物体が配置された広視野 CGH の計算には非常に長い計算時間か莫大なメモリ量、またはその両方が必要になる。そこで小型の物体が多数存在するスパースな 3D シーンにおいて、物体単位スイッチバック法により正確なオクルージョン処理を行い、省メモリでかつ短時間に広視野 CGH を計算する手法を報告する。

キーワード 広視野 CGH, スパースな 3D シーン, スイッチバック法

Calculation Method for Full-Parallax High-Definition CGH Reconstructing Sparse 3D Scenes with Wide Field of View

Kaito Kitatani Hirohito Nishi Kyoji Matsushima

Department of Electrical, Electronic and Information Engineering, Kansai University

Yamate-cho 3-3-35, Suita, Osaka 564-8680, Japan

E-mail: k339399@kansai-u.ac.jp (K. Kitatani)

Abstract We commonly need very long computation time, very large main memory, or both of them to calculate full-parallax high-definition CGHs with wide field of view (FOV), where much larger objects than the hologram window are arranged behind the hologram. In this study, a novel method using the object-by-object switchback method is proposed to calculate wide FOV CGHs reconstructing sparse 3D scenes, where many small objects are arranged, with less memory requirement and shorter calculation time.

Keyword wide FOV CGH, Sparse 3D scene, switchback method

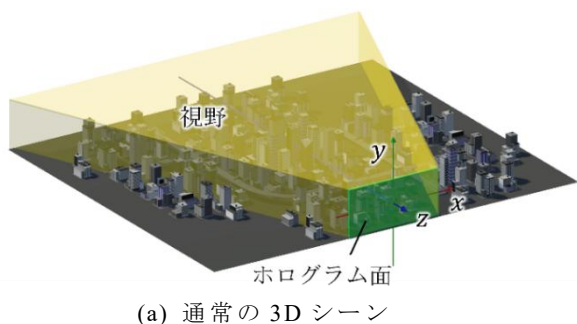
1. はじめに

近年、コンピュータの計算性能や搭載メモリ容量の増加により、数百億から一千億以上のピクセルを有する大規模な全方向視差高解像度計算機合成ホログラム (Full-parallax high-definition CGH, FPHD-CGH) が計算可能となった[1]。FPHD-CGH の再生像では奥行き知覚に関して全く矛盾が生じないため、驚くほど奥行きの深い 3D 映像を再生できる。

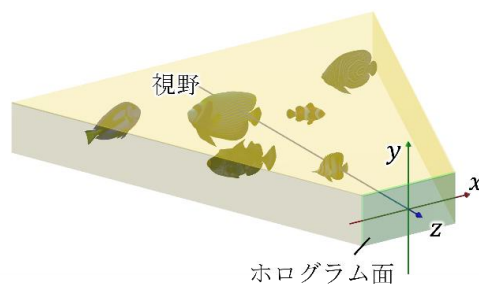
しかし、これまでに作製されてきた CGH では一般に、物体光波計算時のサンプリング窓をホログラムと同じ大きさに設定するため、ホログラムのサイズがそれ以下の大きさの物体しか再生できないものが多く、視野の狭いホログラムとなっている。それに対して、図 1(a)に示すように、ホログラムの奥に広い視野で物体空間が広がった CGH を広視野 CGH と呼ぶ[2]。この

ような広視野 CGH を計算するには、物体光波のサンプリング窓をホログラムサイズよりも大きく設定する必要があり、それに伴い長い計算時間か莫大なメモリ量、またはその両方が必要になる。特に、そのサンプリング窓のフレームバッファがメモリに入りきらない場合、計算するサンプリング窓自体を空間的に分割して計算する必要があり、伝搬計算量が分割数に対して指数関数的に増加する。また、二次記憶とメモリで光波データをスワップする必要があり、それに必要な I/O 処理がさらに計算時間が長大化させる。

一方、一つながりの物体ではなく、図 1(b)に示すように、独立した小さな物体が広い物体空間に散らばって配置されているような 3D シーンをスパースな 3D シーンと呼ぶが[3]、従来の計算方法ではこのような 3D シーンの計算でもメモリ負荷の巨大化と計算時間の長



(a) 通常の 3D シーン



(b) スパースな 3D シーン

図 1 広視野 CGH の 3D シーン

大化が生じていた。

そこで本研究では、光軸と直交する方向にずれたサンプリング窓に伝搬計算できるシフトed角スペクトル法[4]を利用して物体面とホログラム面の間の往復伝搬を計算し、スイッチバック法[5]を物体単位に適応することにより正確なオクルージョン処理を行い、省メモリでかつ短時間に広視野 CGH を計算する手法を報告する。

2. スパースな 3D シーンの物体光波計算

2.1. スパースな 3D シーン

物体モデルがひとつながりの大きな物体の場合、物体間の相互オクルージョンの概念がなく、すべて自己オクルージョンとなる。そのため、物体モデルの全ポリゴンをスイッチバック法[5]で処理する必要がある。これが巨大なサンプリング窓を必要とする理由である。

一方、本研究では、図 1(b)に示すような、独立した小さな物体が広い物体空間に散らばって配置されているような 3D シーンについて物体光波の効率的な計算法を提案する。この様なシーンではモデルの全ポリゴンをスイッチバック処理する必要はないが、物体間の相互オクルージョンの処理が必要になる。

2.2. シフトed角スペクトル法

xy平面上の伝搬元光波を平行ではあるがずれたサンプリング窓に伝搬計算する手法としてシフトed角スペクトル法がある[4]。これは、平行平面間の伝搬計算手法の一つである角スペクトル法の伝搬先のサンプリング窓を、x,y軸方向にシフトするように拡張したものであり、軸外れの伝搬計算を実行することができる。ただし、必ずサンプリング窓の 4 倍拡張が必要である問題もある。

2.3. スイッチバック法

ポリゴン間のオクルージョンの処理方法としてスイッチバック法がある[5]。この手法では、ポリゴン単位シルエット法に Babinet の原理と部分光波伝搬を用いることで計算量を大幅に削減し、物体モデルの自己オクルージョンの処理を可能にしている。

図 2 に示すように、スイッチバック法では、物体平面に蓄積された全光波をポリゴンの回折範囲の部分光

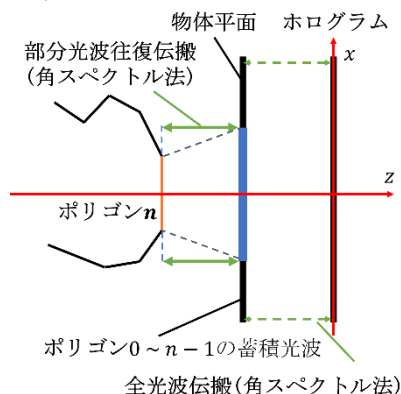


図 2 通常のポリゴン単位スイッチバック処理

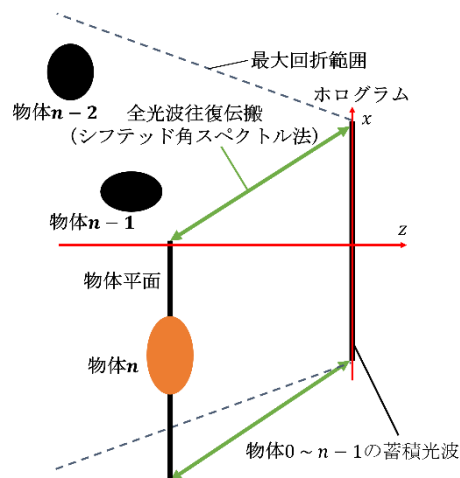


図 3 シフトed角スペクトル法を用いた物体単位スイッチバック処理

波に切り取り、それを角スペクトル法によって往復伝搬する。これをスイッチバック処理と呼ぶ。この処理の過程でポリゴンのシルエット形状のマスク開口を用いて光波遮蔽処理を行っている。

2.4. シフトed角スペクトル法を用いたスイッチバック処理

従来のスイッチバック法はポリゴン単位の遮蔽を目的としており、物体平面に蓄積した光波に対して、ポリゴン周辺の局所的な領域でのスイッチバック処理を行う。これには、角スペクトル法を用いてサンプリング窓がシフトしない平行平面間の伝搬計算を行う。

一方、スパースな 3D シーンでは全体でスイッチバック処理する必要はないが、相互オクルージョンの処理が必要になる。そこで、図 3 に示すように、ホログラム面で光波を蓄積し、ポリゴン単位ではなく物体単位でスイッチバック処理を行うことにより相互オクルージョンを処理する。この時、往復伝搬にシフテッド角スペクトル法を用いることで、ホログラムサイズ以上に広がった物体空間内の物体全てに対して、スイッチバック処理を行う。なお、今回は個々の物体が有する自己オクルージョンは処理せず、物体のシルエットによる光波遮蔽をおこなっている。そのため、物体に自己オクルージョンがある部分は半透明に再生される。

2.5. 提案手法の計算手順

提案手法の計算手順では、まず、処理対象の物体がそれより後ろの物体と遮蔽関係にあるかを判定する。遮蔽関係にない場合は、相互オクルージョンの処理が必要ないため、その物体の物体光波を計算してシフテッド角スペクトル法により伝搬計算し、ホログラム面のフレームバッファに加算する。

処理中の物体が後方の物体を遮蔽している場合は、相互オクルージョンの処理が必要になるため、シフテッド角スペクトル法を用いたスイッチバック処理を行なう。つまり、ホログラム面に蓄積されている光波を当該物体の物体平面までシフテッド角スペクトル法により後方伝搬し、物体のシルエットマスク開口を乗算、物体自体の光波を加算する。それを、再びシフテッド角スペクトル法によりホログラム面に前方伝搬し、蓄積光波に反映する。

3. 提案手法の性能の測定

図 4 に計算したスパースな 3D シーンを示す。ここでは、海中のシーンを模して魚のモデルが物体空間に散らばっている。この様な 3D シーンの計算に必要なピークメモリ量と計算時間が提案手法によりどの程度改善されるかは、条件によって異なる。そこで、条件を変えて、従来手法との比較を行なった。表 1 に条件別のパラメータを示す。 H_w と H_h は、図 4 に示す通り、ホログラム面の x,y 方向のサイズである。 D_n は、図 5 に示す通り、ホログラム面から最も近い物体までの距離、 D_f は物体空間の厚みであり、ホログラムに最も近い物体から最も遠い物体までの奥行き方向の距離である。また、 M は物体の総数であり、いずれの場合も波長を 635nm、光波のサンプリング間隔を 0.8 μ mとしている。

ここで、条件 3 と 4 のサンプル点数は 128K $\times$ 128K で総約 170 億サンプル点となっており(1K=1024)、条件 1 と 2 の 64K $\times$ 64K(同約 43 億)よりもホログラムのサイズが 4 倍大きくなっている。また、条件 2 は条件 1 よりも物体の密度を上げた場合であり、条件 4 は条件 3 よりも奥行きの深いシーンである。

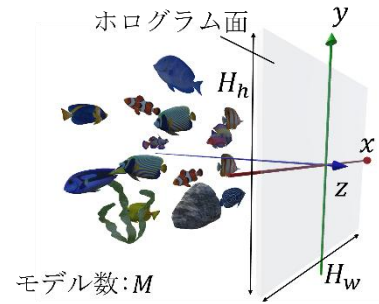


図 4 計算した 3D シーン

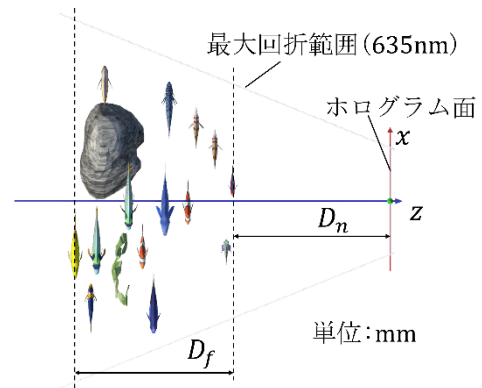


図 5 3D シーンのパラメータ

表 1 条件別のパラメータ

条件	M	H_w [cm]	H_h [cm]	D_n [mm]	D_f [mm]
1	13	5.2	5.2	100	200
2	24	5.2	5.2	100	200
3	13	10.4	10.4	100	200
4	16	10.4	10.4	150	300

条件別の計算時間の比較を図 6 に示す。ここで用いた CPU は Intel Xeon であり、提案法と従来法の比較は同一環境で行っている。しかし、異なった条件では全て同一環境下での測定ではないため、条件別の計算時間は参考値である。この結果から、計算時間はおおむね提案法が短く、条件 2 では約 2 倍に高速化している。一方、条件 3 では計算時間が増える結果となった。これはシフテッド角スペクトル法による往復伝搬の計算では 4 倍拡張が必須であるのに対して、従来法のモデル間伝搬は 4 倍拡張が必要ないためと考えられる。

同様に、計算に必要なピークメモリ量の比較を図 7 に示す。こちらでは、全ての場合において大幅にピークメモリ量を削減できることが示されている。最も効果がある条件 4 では約 4 分の 1、効果が低い条件 3 でも約 2 分の 1 に削減されており、提案法の有用性を確認できた。

4. FPHD-CGH の製作と光学再生像

条件 4 のパラメータで作製した CGH の光学再生像を図 8 に示し、パラメータを表 2 に示す。ここで、非

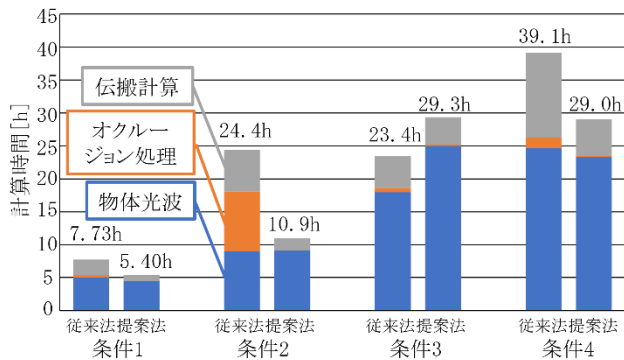


図 6 計算時間の比較

回折光と共役像を避けるため干渉縞オーバーサンプリング[6]を行っているため、y方向のピクセル間隔は物体光波のサンプリング間隔の半分、ピクセル数はサンプル点数の倍になっている。図 8 から相互オクルージョンが正しく処理されていることを確認できる。

5. まとめ

スパースで広視野な 3D シーンの物体光波計算において、シフテッド角スペクトル法でホログラム面と物体面で往復伝搬計算し、物体単位スイッチバック法を用いてオクルージョン処理を行う手法を提案した。ピークメモリ量及び計算時間を比較した結果、大幅にピークメモリ量を削減でき、ほとんどの場合で計算時間も削減できることを示した。また、この手法で計算した FPHD-CGH の光学再生像で、オクルージョンが正しく処理されていることを確認した。

謝辞

本研究は、日本学術振興会科研費 22H03712 および国立研究開発法人情報通信研究機構の委託研究 (JPJ012368C06801) の助成を受けたものである。

文 献

[1] K. Matsushima: *Introduction to Computer Holography*, Sect. 1.3 (Springer, 2020).

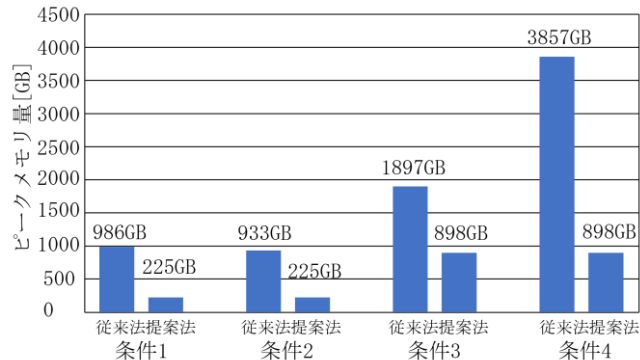


図 7 ピークメモリ量の比較

表 2 作成した FPHD-CGH のパラメータ

ピクセル数	131,072 × 262,144
ピクセル間隔[μm]	0.8 × 0.4
設計波長[nm]	635
視域[°]	46.6 × 46.6

- [2] 永江洋輔, 松島恭治: “窓から見た都市風景を再生する CGH の作成”, 3 次元画像コンファレンス 2019, 1-3 (2019).
- [3] 中村将樹, 松島恭治, 中原住雄: “スパースな 3D シーンを有する超高解像度 CGH における隠面消去の高速化”, 3 次元画像コンファレンス 2010, pp.17-20 (2010).
- [4] K. Matsushima: “Shifted angular spectrum method for off-axis numerical propagation,” *Opt. Express* **18**, pp. 453-18,463(2010).
- [5] K. Matsushima, M. Nakamura and S. Nakahara: “Silhouette method for hidden surface removal in computer holography and its acceleration using the switch-back technique,” *Opt. Express* **22**, pp. 24450-24465(2014).
- [6] K. Matsushima: *Introduction to Computer Holography*, Sect. 8.8.3 (Springer, 2020).

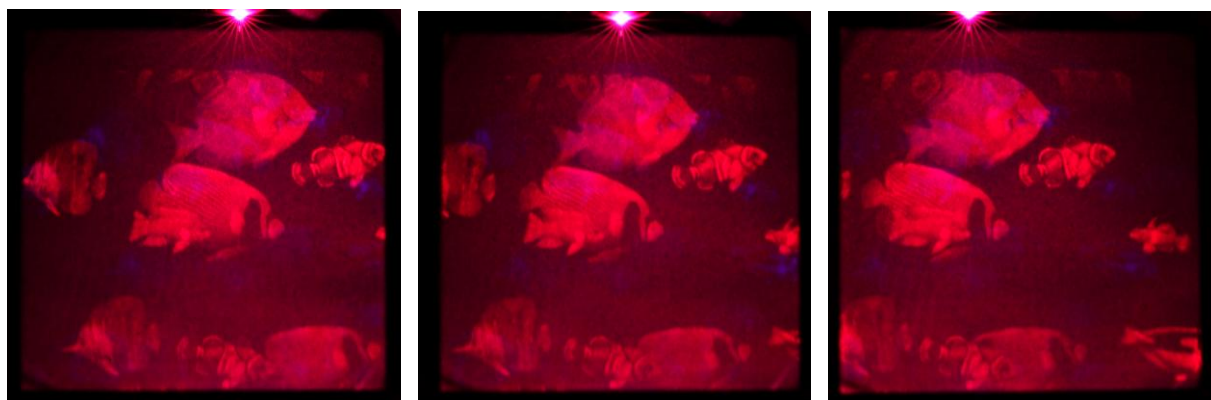


図 8 作製した FPHD-CGH の光学再生像