

窓から見た都市風景を再生する CGH の作成

Creation of a CGH reconstructing urban landscape seen through hologram window

永江洋輔

松島恭治

Yosuke Nagae

Kyoji Matsushima

関西大学 システム理工学部 電気電子情報工学科

Department of Electrical and Electronic Engineering, Kansai University

ABSTRACT

Computation techniques are proposed to create a CGH that reconstructs the view of an urban landscape from a window. This type of CGH must reconstruct a large field of vision, and thus requires a large area of the object field. As a result, the computation time is commonly much longer than that of normal CGHs. To calculate the CGH, the switch-back technique that realizes high-speed computation of the polygon-by-polygon silhouette method is used for the occlusion processing. The switch-back technique has a characteristic that computation is accelerated by dividing the object model in depth, but there is an optimal number of division. In addition, it is necessary to divide the object field in segments, because the object field must be expanded dependently on depth. In this report, computation time is estimated using measured I/O speed and performance index of a CPU to optimize the number of sub-model division.

Keywords: 計算機合成ホログラム, スイッチバック法, サブモデル分割, セグメント分割

1. はじめに

スイッチバック法[1]の提案によって複雑なシーンやモデルを再生する CGH の作成が可能となった。スイッチバック法では、物体モデルを奥行き方向にサブモデル分割することで計算時間を短くすることができるが、サブモデル分割数には最適値が存在することがわかっている[2]。一方、大面積の物体光波を計算する場合には、計算機メモリの制限のため光波をセグメント分割し、2次記憶装置をバッファとして用いる必要があるが、この手法を用いた場合、その計算時間は非常に長くなる[3]。

本研究では、窓から見る都市風景のように、視点を動かすと、窓の外側の視野全体に大きく広がった

景色が見える CGH の作成を目指している[4]。このようなホログラムではその物体モデルは、視野全体を覆いつくす大規模なものになり、その光波も大面積であるため、セグメント分割を用いた計算が不可欠となる。

そこで本研究では、セグメント分割した物体光波の計算時間を事前に見積もって、最適なサブモデル分割数を推定することにより物体光波の計算時間を最小限に抑えることを目指している。本研究では FFT の計算量のみによる推定だけではなく、I/O タイム等を加味した高精度な推定を用いて作成したりアルな CGH を報告する。

2. 物体光波の計算

視野全体に広がった再生像を得るためには、Fig.1のように、ホログラム面を通じて見える視野全体に収まり切らないほどの大きさにモデルを設定し、視野に入るポリゴン全てを計算対象にしなければならない。水平方向のピクセルピッチを $0.8 \mu\text{m}$ とすると、

永江洋輔

<nagae@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

〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35

TEL 06-6368-1121(内線 5722)

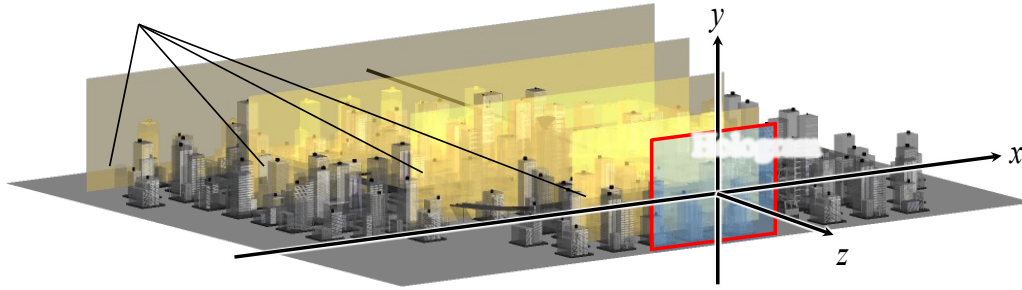


Fig.1 An example of the 3D scene and model of the urban landscape with a large field of vision and object field.

最大回折角は左右合わせて約 45° となるため、これに基づいて視野を算出し、必要な物体光波の面積を決定している。

2.1. スイッチバック法

スイッチバック法とは、Babinet の原理に基づいて、従来のシルエット法で用いていたシルエットマスクによる光波の遮蔽処理をシルエット開口を用いた処理に置き換えた手法である。ポリゴン単位で遮蔽を行う場合、シルエット開口を用いた場合は開口付近の光波のみを計算すればよいため、計算量を大幅に削減することができる[1]。

スイッチバック法では、あるポリゴンの光波を計算する際、まず物体平面と呼ばれるモデルを横切って設置した平面に蓄積した光波から、一部を切り出してポリゴンのある平面まで後方伝搬する。このとき、物体平面でのポリゴン光波の最大回折範囲を切り出す。この光波にポリゴンのシルエット形状の開口を乗算し、ポリゴン光波を加算して、物体平面まで前方伝搬し、次のポリゴンの光波を計算するための蓄積光波を求める。この操作を全ポリゴンに対して繰り返すことで物体光波を求めることができる。本研究では、後方伝搬、開口の乗算とポリゴン光波の加算、前方伝搬の処理をまとめてスイッチバック処理と呼ぶ。

2.2. サブモデル分割

スイッチバック処理に必要な光波サンプル点数はポリゴンから物体平面までの最大回折範囲に依存する。回折範囲はポリゴンから物体平面までの距離が長いほど広がるため、物体平面から離れたポリゴンの処理ではサンプル点数が大きくなってしまふ。そこで、Fig.2 のように物体モデルを奥行き方向から

複数のサブモデルに分割し、各サブモデルの中心に物体平面を設定することでポリゴンから物体平面までの距離を短くし、サンプリング範囲を狭くして計算量を削減することができる[1]。しかしながら、あるサブモデルの光波を計算した後は次のサブモデルの物体平面まで全光波を伝搬計算しなければならないため、サブモデル分割数を多くしすぎると全光波伝搬計算の回数が増加し、かえって計算時間が長くなってしまふ。このことから、サブモデル分割数には最適値が存在することがわかる[2]。

2.3. 光波のセグメント分割

本研究で作成する CGH の物体光波を計算する際は、Fig.1 に示したように、奥にあるサブモデルほど物体平面を大きくする必要があり、物体平面上の光波分布すべてをメモリ上に保持することが困難であ

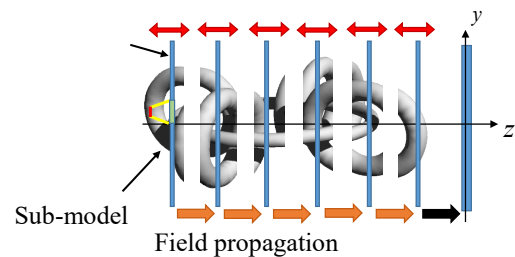


Fig.2 The principle of the acceleration technique of the switch-back method by dividing object model.

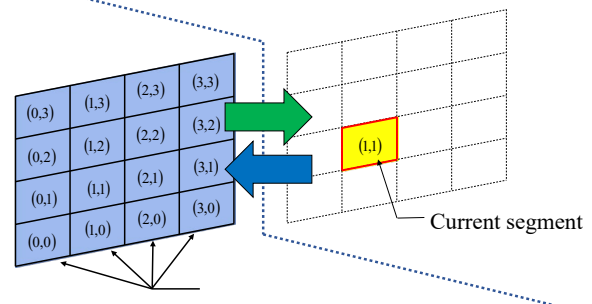


Fig.3 Computation of object fields using the segmentation technique.

る。そこで、Fig.3のように光波を複数のセグメントに分割し、そのうちの1つだけをメモリ上に読み込んで計算する。

この手法を用いる場合、サブモデル間の全光波伝搬では、1つのセグメントからの光波を最大回折範囲の全セグメントに伝搬しなければならない。また、物体平面のセグメント数がサブモデルの奥行き位置によって変化するため、サブモデル分割数が増加するとサブモデル間伝搬の計算にかかる時間は非線形に、かつ爆発的に増加する可能性がある。さらに、セグメントをメモリと2次記憶装置の間でスワップするI/O処理にも時間がかかる。したがって、最適なサブモデル分割数を推定するには、物体光波の計算にかかる時間とI/O処理時間をできるだけ正確に見積もる必要がある。なお、本研究では、モデルが水平方向にのみ広いものであるため物体平面も水平方向にのみ大きくしている。

3. 計算時間の推定法

セグメント分割した物体光波の計算は、主としてスイッチバック処理、サブモデル間伝搬、I/O処理に分かれるため、総計算時間を

$$T_{\text{all}} = T_{\text{sw}} + T_{\text{prop}} + T_{\text{I/O}} \quad (1)$$

と表す。ここで T_{sw} 、 T_{prop} および $T_{\text{I/O}}$ はそれぞれスイッチバック処理、サブモデル間伝搬、I/O処理にかかる時間である。本研究では、FFTの計算量から T_{sw} と T_{prop} を推定し、ベンチマークを用いて事前に測定したアクセス速度から $T_{\text{I/O}}$ を推定した。

3.1. スイッチバック処理の計算量

スイッチバック処理は2回の伝搬計算とポリゴン光波の計算・加算からなる。本研究では、FFTの計算量をスイッチバック処理の計算量と仮定する。ここで、サンプリング数 M のFFTの計算量を

$$\text{FFT}(M) = M \log_2 M \quad (2)$$

と表す。また、光波を計算する際はサブ、パラレル、テイルフレームバッファと呼ばれる3つのバッファにおいて光波のFFTを2回ずつ行うため、1ポリゴンのスイッチバック処理の計算量は

$$p_n = 2 \left[\text{FFT}(M_{\text{sfb},n}) + \text{FFT}(M_{\text{ptb},n}) + \text{FFT}(M_{\text{itb},n}) \right] \quad (3)$$

Table 1 Parameters of the computer used for estimation and computation.

OS	Windows server 2012 R2
CPU	Xeon CPU E5-2683 v4 × 2
CPU clock [GHz]	2.1
No. of real cores	32
Memory [GB]	768
$B_{\text{I/O}}$ [s/B]	2.9×10^{-9}
a_{FFT} [s/FFT(M)]	3.0×10^{-10}

Table 2 Parameters used for creating the CGH.

Number of pixels	$131,072 \times 65,536$
Pixel pitches [μm]	0.8×0.8
Size of CGH [cm^2]	10.4×5.2
Design wavelength [nm]	633

と表される。ここで、 $M_{\text{sfb},n}$ 、 $M_{\text{ptb},n}$ および $M_{\text{itb},n}$ はポリゴン n の各バッファにおける光波サンプル点数である。

3.2. サブモデル間伝搬の計算量

サブモデル間伝搬は物体平面の各セグメントを次の物体平面の最大回折範囲の全セグメントに対して行うので、1セグメントあたりの計算量は

$$s_m = 2A_m \times \text{FFT}(n_{\text{sx}} \times n_{\text{sy}}) \quad (4)$$

と表される。ここで、 n_{sx} 、 n_{sy} は各セグメントの x 、 y 軸方向のサンプル点数であり、 A_m はセグメント m が次のサブモデルの物体平面まで伝搬した時の回折範囲に含まれるセグメント数である。

3.3. I/O アクセス速度と計算機性能指数の測定

ベンチマークを設定し、ファイルの読み込みと書き込みを複数回行った時の平均アクセス時間を測定し、I/O時間の比例係数を求めた。また、光波分布は1サンプル点あたり8バイトの情報を持つため、1セグメントあたりのI/O時間は

$$t_m = 8B_{\text{I/O}} n_{\text{sx}} n_{\text{sy}} o_m \quad (5)$$

となる。ここで、 $B_{\text{I/O}}$ はI/O時間の比例係数であり、 o_m は、セグメント m が処理対象になる回数である。

一方、用いる計算機において、 M 点のFFTに要する時間 $T_{\text{FFT}}(M)$ を複数回測定し、計算機性能指数を、

$$a_{\text{FFT}} = T_{\text{FFT}} / \text{FFT}(M) \quad (6)$$

とした。

3.4. 最適なサブモデル分割数の推定

以上を踏まえると、スイッチバック処理、サブモデル間伝搬計算、I/O 時間はそれぞれ、

$$T_{\text{sw}} = a_{\text{FFT}} \times \sum_{k=0}^{K-1} \sum_{m=0}^{M_k-1} \sum_{n=0}^{N_k-1} p_{k,m,n} \quad (7)$$

$$T_{\text{prop}} = a_{\text{FFT}} \times \sum_{k=0}^{K-2} \sum_{m=0}^{M_k-1} s_{k,m} \quad (8)$$

$$T_{\text{IO}} = \sum_{k=0}^{K-1} \sum_{m=0}^{M_k-1} t_{k,m} \quad (9)$$

となる。ここで、 K はサブモデル分割数、 M_k はサブモデル k の物体平面のセグメント数、 N_k はサブモデル k のポリゴン数を表している。これらを用いて、サブモデル分割数に対する計算時間の総和 T_{all} を求め、その値が最も小さくなる分割数を最適値として物体光波の計算を行なった。

4. 計算時間の推定結果と CGH の作製

推定および物体光波の計算に用いたマシンのスペックとアクセス速度、性能指数を Table 1 に、計算した CGH のパラメータを Table 2 に示す。また、サブモデル分割数に対する推定計算時間を Fig.4 に示す。この結果から、最適分割数は 34 分割で、その時の計算時間は 178 時間という推定結果になった。

最適なサブモデル分割数で計算を行って作成した CGH の光学再生像を Fig.5 に示す。実際には物体光波の計算には 318 時間かかり、推定された計算時間の約 1.8 倍の時間かかった。誤差の主な原因としては、メモリ確保や開放、回転変換に伴う補間やポリゴンのテクスチャマッピング等にかかる時間を考慮していないことが挙げられる。また、長時間の計算により計算時間が徐々に長くなることから、温度上昇による CPU クロックの抑制等が考えられる。実際、最後のサブモデルについては 1 セグメントの伝搬に最初の 1.5 倍ほど時間がかかっていた。

5. まとめ

物体光波の計算にかかる時間を正確に推定することはできなかったが、計算量ではなく物体光波の計算時間を見積もってサブモデル分割数を推定するなどの改良により、以前の計算時間である 513 時間に比べて大幅な高速化を実現できた[4]。また、再生像は視野が広く、インパクトの強いものとなった。

6. 謝辞

本研究は、日本学術振興会科研費 18H03349 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] 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**, 24450-24465(2014).
- [2] 増田幸勇, 松島恭治, 中原住雄, "コンピュータホログラフィにおけるスイッチバック法を用いた隠面消去の高速化手法", HODIC Circular **34**, No.3 6-9(2014).
- [3] K. Matsushima, S. Nakahara, "Frequency filtering for reduction of memory usage in computer holography," OSA Topical Meeting on Digital Holography and Three-Dimensional Imaging 2015, DTu2B.7 (2015).
- [4] Y. Nagae, K. Matsushima: "Creation of a large-scale urban landscape CGH using the switch-back and polygon-based method", HODIC in Taiwan 5, (2018).

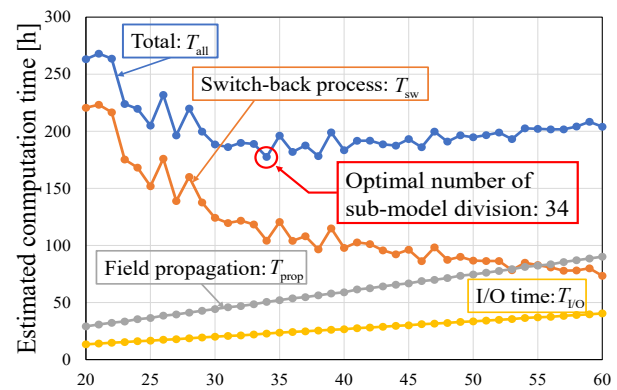
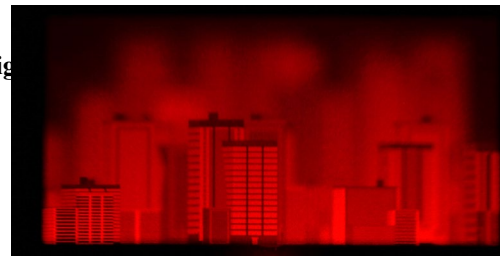
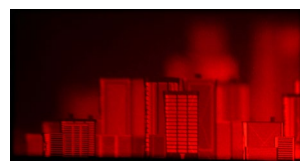


Fig. 4 Estimated computation time [h] versus the number of sub-model divisions



(a) Center



(b) Left



(c) Right

Fig.5 Optical reconstruction of the fabricated CGH.