

GPU とスイッチバック法を用いた 点光源法とポリゴン法 の速度比較

Comparison of computation time between point-based and polygon-based method using the switch-back technique with GPU

中清裕貴

松島恭治

Yuki Nakase

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

The switch-back method is implemented in GPU and its combination of the point-based method is compared with that of the polygon-based method. The measured computation time of 32K×32K CGH shows that the switchback method has an effect of accelerating computation by the point-based method. However, the results also show that the total computation time is dominated by that of field propagation.

Keywords: 計算機合成ホログラム, ポリゴン法, 点光源法, スイッチバック法, GPU

1. はじめに

計算機合成ホログラム (Computer-Generated Hologram: CGH)における物体光波を物理シミュレーションにより数値合成する手法として, 主に点光源法とポリゴン法が挙げられる. ポリゴン法は点光源法と比較して計算速度が高速であるため, 数10億画素以上の高解像度 CGH の物体光波の計算にはポリゴン法が使われている. しかし, 近年, GPU が急速に発達しており, GPU と相性の良い点光源法と CPU によるポリゴン法との計算速度の比較では, 点光源法の方が速いとの報告もある[1]. しかし, この報告では隠面消去を行っておらず, またポリゴン法は CPU で計算をしていた.

一般的な 3D シーンの光波計算では隠面消去処理が不可欠である. 全方向視差 CGH で有効な隠面消去処理にはポリゴン単位の高速な光波遮蔽手法であるスイッチバック法があり[2], ポリゴン法と組み合

わせて GPU でも実装されている[3].

そこで, 本研究ではスイッチバック法を用いて隠面消去を行い, CPU を用いたポリゴン法, GPU を用いたポリゴン法と点光源法の計3つの手法で計算速度の比較を行った.

2. 隠面消去を行わない場合の速度比較

隠面消去を行った場合の速度比較に先立ち, GPU を用いた隠面消去無しの場合の速度比較を行った.

2.1. 点光源のパラメータ設定と計算手法

物体光波の計算手法において, ポリゴン法ではポリゴンを面光源として扱いその光波を計算する. 一方, 点光源法ではポリゴン表面に点光源を敷き詰め, 点光源からの球面波を重畳することにより計算を行う. 点光源法では敷き詰めた点光源とピクセル数の積に計算時間が比例するため点光源密度が増加すると計算量が増え, 計算時間が増加してしまう. 一方, ポリゴン法にはそのような可調整なパラメータは無い.

そこで, 点光源法とポリゴン法の条件を公平にするために必要最低限の点光源数を物体表面に配置する. 視力 1.0 の観察者が CGH 前方の一定の位置から再生像を観察すると仮定し, その視角の 1/60 度にお

中清裕貴

<nakase@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)

いて点光源が分離して見えない最低の光源密度を設定した. 具体的には観察者が CGH から 25cm 離れた位置から観察することを仮定している.

また, 点光源の計算手法はいくつかあるが, 本研究では GPU を用いた場合に単純な球面波の式よりも高速に計算できる差分法を用いて計算を行った [2].

2.2. 計算時間の測定結果

計測に用いた 3D シーンを Fig.1, パラメータを Table 1 に, また計測結果を Fig.2 に示す. この結果から, 隠面消去を行わない物体光波計算において GPU を用いた場合, 点光源法よりもポリゴン法の方が高速に計算できることが分かる.

CGH の計算では低速なメモリ領域を使用しているためにメモリアクセス回数は計算時間に大きな影響を与える. そのため, 点光源数とホログラム面のピクセル数に比例した回数メモリアクセスを行わなければならない点光源法では計算速度が低下していると考えられる.

3. 隠面消去を行った場合の速度比較の方法

3.1. スイッチバック法

CGH において自然な再生像を得るためには隠面消去が必要である. 高解像度 CGH の隠面消去にはポリゴン法と相性が良いシルエット法が用いられている. この時, 物体自身が持つオクルージョンを正しく再生するためにはポリゴン単位でシルエット遮蔽処理を行うスイッチバック法を用いなければならない. スイッチバック法とは, Babinet の原理に基づき, シルエットマスクを反転したシルエット開口を用いてポリゴン単位シルエット法を高速化する手法である [1].

3.2. GPU による計算支援

スイッチバック法を用いて高解像度 CGH の物体光波計算をする場合, 最低でも物体光波の格納に必要な容量の 2 倍のメモリが必要であるため, 一般的な GPU のメモリ容量では不十分である. そのため, 光波の分割計算を行うか, GPU では不可能な処理を CPU 側で行う必要がある.

物体光波は 1 点が 8byte の複素振幅データであるため, 本研究で用いた GPU(メモリ 12GB 搭載)では

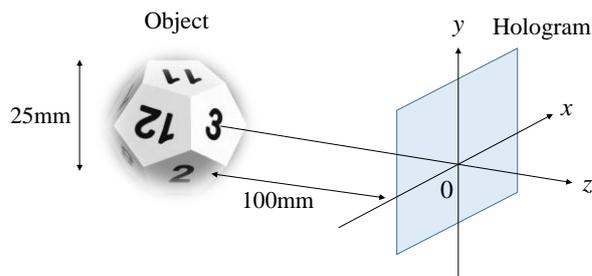


Fig. 1 3D scene used for comparison without occlusion culling.

Table 1 Parameters used for comparison.

Number of pixels	32,768 × 32,768
Pixel pitches	0.8μm × 0.8μm
Design wavelength	632.8 nm
Model	Dodecahedron
Number of polygons	960
Division of sub-model	5

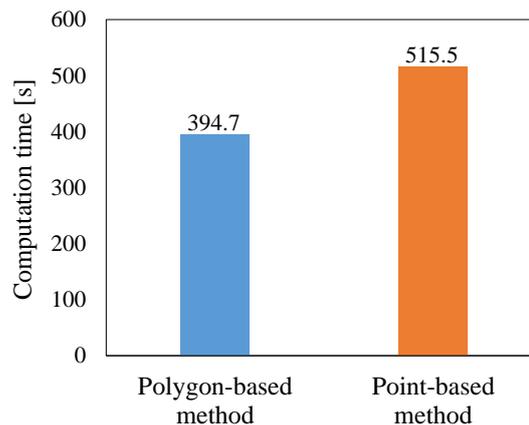


Fig. 2 Measured computation time without occlusion processing.

サンプル点数 32K × 32K の光波までを扱うことができる. そのため, 本研究ではセグメント分割を必要としない 32K × 32K の CGH で測定を行った. また, GPU で計算できない処理は CPU にデータを転送し, CPU で計算を行っている.

Fig.3 に物体光波の計算におけるデータの流れを示す. 分割したサブモデルに対してスイッチバック処理を行う. このスイッチバック処理では部分光波の逆伝搬, マスク処理, 光波の重畳, 部分光波の順伝搬をすべてのポリゴンに対して行う. 光波の計算に関してはポリゴン法では二回の FFT と補間処理を含むポリゴン光波の計算を行い, 点光源法ではポリゴンに敷き詰めた多数の点光源からの球面波計算を行うことでポリゴンからの光波を求めている.

スイッチバック処理後には、光波を次のサブモデルの位置まで伝搬しなければならない。しかし、GPUでこれを行うにはメモリが不十分であるため、一度CPUにデータ転送を行い、CPUで次のサブモデル位置までの光波伝搬を行なっている。その後、GPU側に再びデータ転送し、次のサブモデルに対してスイッチバック処理を行う。これを繰り返し、全てのサブモデルに対して物体光波を計算し、最後にGPUからCPUへデータ転送を行い、ホログラム面までの比較的長い距離の光波伝搬を行なっている。

4. 速度比較の結果

4.1. シーン構成

本研究ではスイッチバック法による隠面消去処理を確認する為にオクルージョンのある物体モデルを使用した。用いた物体モデルと座標系を Fig.4 に、またパラメータを Table 2 に示す。

4.2. 計測環境

CPUを用いたポリゴン法、GPUを用いたポリゴン法、GPUを用いた点光源法の3つの手法で計算速度の比較を行った。計測に用いた環境を Table 3 に示す。

4.3. 測定結果

CPUを用いたポリゴン法、GPUを用いたポリゴン法と点光源法の3つの手法による計算時間の測定結

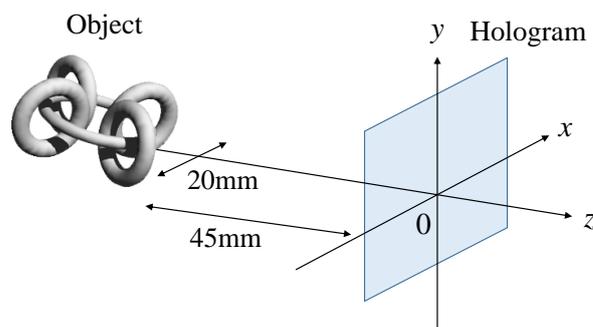


Fig.4 3D scene used for comparison with the switch-back method.

Table 2 Parameters used for comparison with the switch-back method.

Number of pixels	32,768 × 32,768
Pixel pitches	0.8μm × 0.8μm
Design wavelength	632.8 nm
Model	Five Rings
Number of polygons	5000
Division of sub-model	9

果を Fig.5 に示す。この結果から、スイッチバック法で隠面消去を行った場合は、ポリゴン法よりも点光源法の方が速くなることが分かる。

Fig.6 に示した計算時間の内訳を見ると、点光源法によるポリゴン光波の計算時間が7.6秒と非常に短いことがわかる。これは次の理由によると考えられる。スイッチバック法を用いて隠面消去を行う場合、シルエット開口による遮蔽を行うために部分光波を

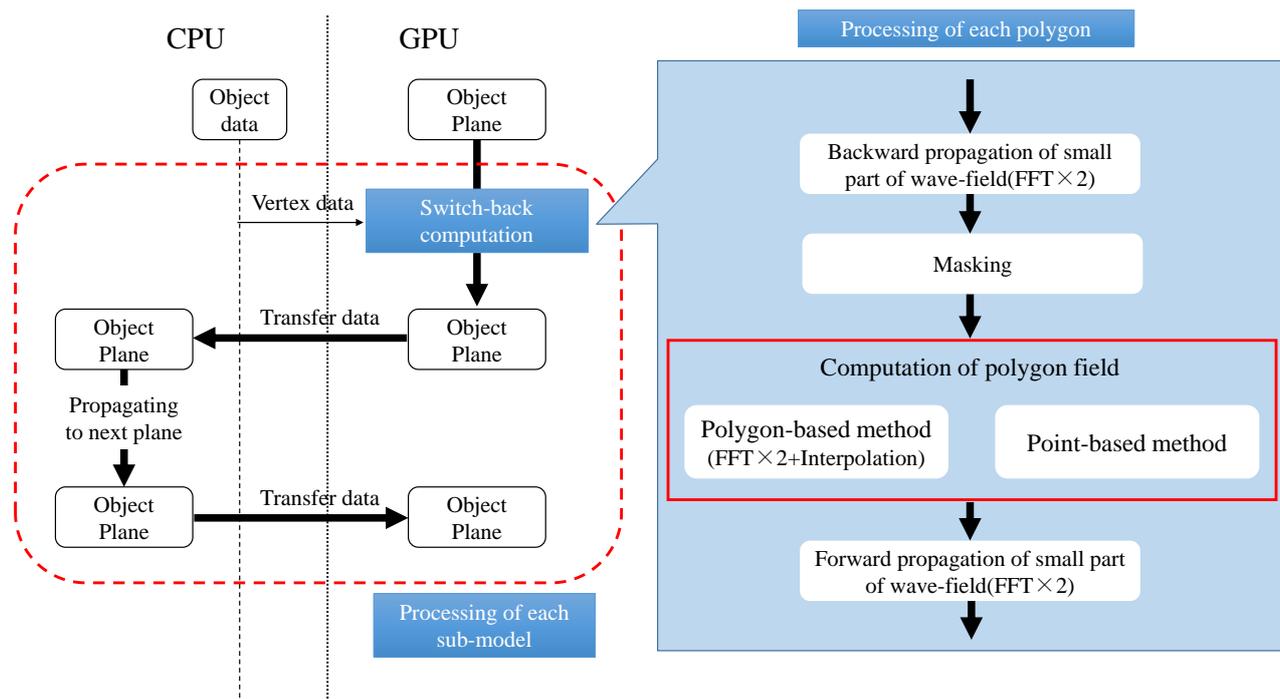


Fig.3 Flow of object-field computation by the switch-back method.

ポリゴンの位置にある平面まで逆伝搬し、ポリゴンに敷き詰めた点光源の球面波をその平面上で加算して順伝搬を行う。そのため、点光源と球面波を求める平面の距離が近くなり、球面波の広がりが大きく減少する。その結果、球面波の計算量とメモリアクセス回数が減るため、点光源法による光波計算時間が大幅に減少したと考えられる。しかし、計算時間全体で比較するとポリゴン法と点光源法光波の計算時間に大きな差はできなかった。これはどちらの手法においても伝搬計算の時間が 50%前後を占めるためである。ここで、Fig.6 における伝搬計算は GPU だけでなく CPU による計算も含んでいる。

なお、今回の計算におけるデータ転送時間は両手法共に約 56 秒であり、計算時間の 1 割ほどになることが分かった。

5. まとめ

スイッチバック法による隠面消去を行った場合、点光源法による光波計算時間が大幅に短縮されるため、点光源法とスイッチバック法の相性が非常に良いことが分かった。また、全体の計算速度を上げるためには伝搬計算の速度向上が必要であることがわかった。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 18H03349, 文部科学省私立大学戦略基盤研究形成支援事業(平成 25 年～平成 29 年), および科学技術振興機構産学連携バリュープログラム VP29117941340 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] 岩瀬進, 吉川浩: "差分法に基づくホログラムの高速計算法", *映情学誌* **52**, 899-901(1998).
- [3] 中清裕貴, 松島恭治: "高解像度 CGH におけるスイッチバック法隠面消去処理の GPU を用いた高速化", *HODIC Circular* **37**, No. 4, 20-27 (2017).

Table 3 Specifications of hardware and software used for comparison.

Host	
CPU	Intel Core i7-6800K (3.40 GHz)
Memory	96 GB
Cores	6
Device	
GPU	NVIDIA GeForce GTX TITAN X (1.08 GHz)
Memory	12GB
CUDA cores	3072
Software	CUDA 7.5

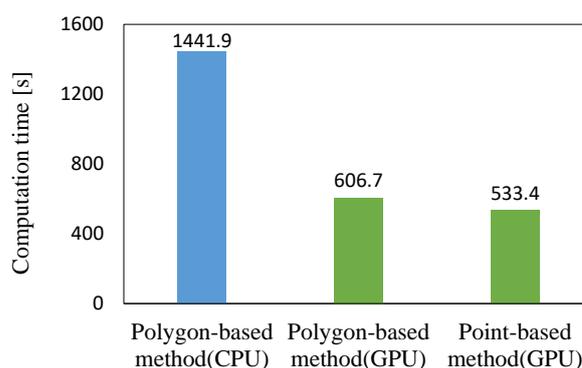
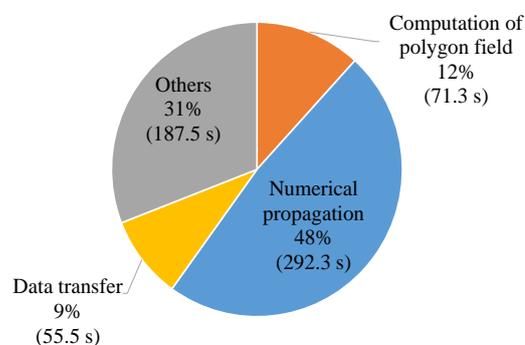
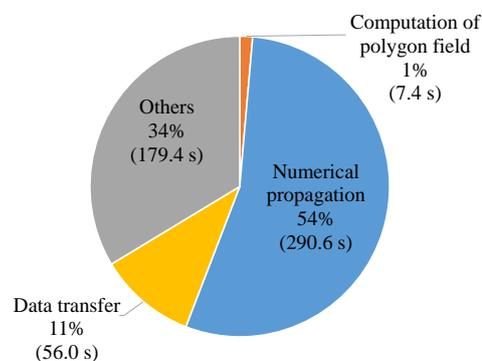


Fig.5 Measured computation time with the switch-back method.



(a) Polygon-based method



(b) Point-based method

Fig.6 Itemized computation time.