

GPU を用いたポリゴン法計算機合成ホログラムの計算

Computation of Polygon-based CGH by Using GPU

寺口 功
Isao Teraguchi

松島 恭治
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, Faculty of Engineering Science
Kansai University

ABSTRACT

The polygon method, proposed for computing the object field of surface-modeled objects, is implemented in GPU for the final purpose of real-time computation in electro-holography. Measurements of the computation time verify that GPU can accelerate the computation in cases that large polygons are computed in large number of pixels. However, in some cases, many small polygons for example, GPU is not effective in the polygon method.

Keywords: CGH, GPU, GPGPU, ホログラフィ, ポリゴン法

1. はじめに

CGH の物体光波数値合成に GPU を用いた研究は既に多く報告されている。それらは全て数値合成手法に点光源法を用いており, GPU による計算が大きな効果を発揮することが報告されている[1]。しかし, 点光源法で表面モデルの物体をレンダリングした場合, 莫大な数の点光源が必要であることから, 高精細, 大規模なリアルタイム CGH の生成は困難であると思われる。

一方, ポリゴン法[2]では, 物体光波をポリゴン単位で計算するため, 表面モデルでは点光源法に比べて計算量が少なく, それを利用して超高解像度の CGH 作成も報告されている[3]。そこで, 本研究ではポリゴン法を用いた物体光波数値合成を GPU に実装し, ポリゴン法でも GPU が効果を発揮するかどうかを調べた。

2. ポリゴン法の GPU への実装

本研究ではグラフィックボードに GeForce GTX 295 を使用した。GTX 295 は NVIDIA 社製 GeForce GTX 275 チップのクロックを落とした GPU コアを二基搭載している。また, GTX 295 の一つの GPU コアにつき 240 個のストリームプロセッサ(SP)を搭載し, SP のクロック周波数は 1242 MHz である。

2.1 物体光波全体の計算

GPU に実装したポリゴン法により物体光波を計算する手順を Fig.1 に示す。一般に, GPU は CPU に比べて高い演算性能を持つ。これは SIMD と呼ばれる

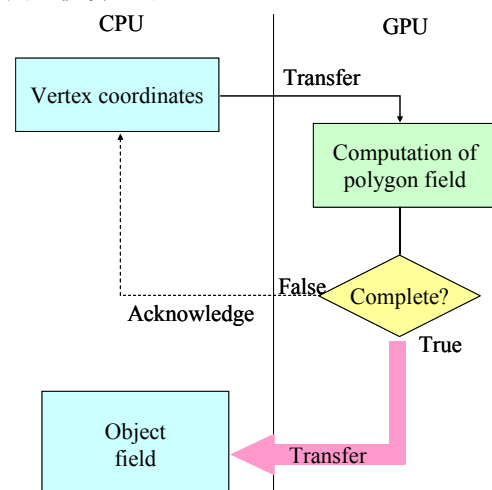


Fig.1 Procedure for computing object fields by using GPU.

寺口 功
teraguchi@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
〒556-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35
TEL 06-6368-1121(内線 5722)

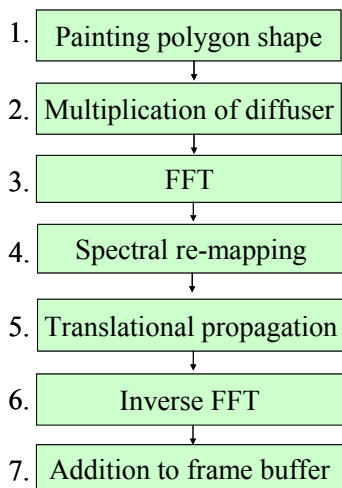


Fig.2 Procedure for computing a polygon field by using GPU.

1 命令で複数のデータを扱う並列動作が可能な構造による。また、GPU は CPU に比べてメモリのコストが圧倒的に安い。しかし、GPU を GPGPU として利用する場合、GPU と CPU 間のバス幅の狭さが問題となる。GPU と CPU 間のデータ転送は GPU のメモリバンド幅や演算速度に比べて非常に遅い。そのため、GPU と CPU 間のデータ転送を何度も行うと非常に効率が悪くなってしまふ。そこで、GPU の演算性能を生かすため、我々は Fig.1 に示すようにポリゴンの頂点座標データのみを GPU に転送している。GPU では転送された頂点座標に基づいてポリゴン光波を計算し、GPU 内のメモリに保持されたフレームバッファにそれを加算している。頂点データを転送するたびにこの処理を行い、最後に全ポリゴンからの物体光波データを一度だけ CPU 側に転送する事で CPU-GPU 間のデータ転送を極力少なくした実装を行った。

2.2 各ポリゴン光波の計算

一つ一つのポリゴンの光波を計算する手順を Fig.2 に示す。まずはじめに、傾いたポリゴンの表面関数を作成するために、GPU のメモリ上に複素フレームバッファ(以下、傾斜フレームバッファ)を用意する。CPU 側から渡された座標データから、Fig.3(a)に示すように、この傾斜フレームバッファの実部にポリゴンを描画する(Fig.2 処理1)。なお、本研究ではフラットシェーディングを用いているのでポリゴン内部の振幅値は一定である。

次に、傾斜フレームバッファに拡散位相と呼ばれる光波を拡散させるための位相を乗算して表面関数を

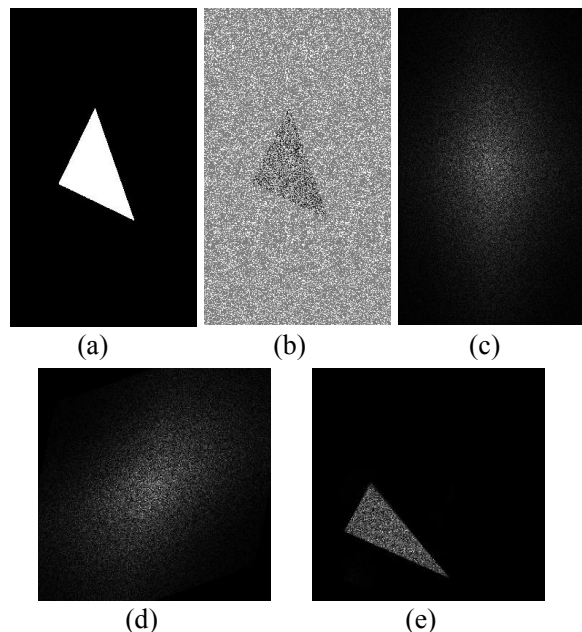


Fig.3 Examples of computation processes using GPU ; (a) amplitude and (b) phase images of a surface function, (c) spectrum of the surface function, (d) re-mapped spectrum with bilinear interpolation, and (e) resultant polygon field.

作成する(処理 2)。表面関数の位相像の例を(b)に示す。作成した表面関数に対して FFT 演算を行う事でそのスペクトル(c)を得る(処理 3)

このスペクトルに対し回転変換[4]とキャリアシフトをあわせたスペクトル再マッピング処理を行う事で、ホログラムに平行なスペクトル(d)が得られる(処理 4)。ここで再マッピング処理においてスペクトルのサンプリング格子が歪むため、再マッピング後のスペクトルを求めるためには、補間処理が必要である。CPU によるポリゴン法の実装では、この補間処理に計算時間の大きな割合を消費する。一方、GPU ではバイリニア補間がハードウェアとしてテクスチャユニットに実装されている。そのため、本研究では GPU のテクスチャメモリに再マッピング前のスペクトルを転送し、GPU のハードウェアでバイリニア補間を行う事で計算時間の短縮を行っている。

再マッピング後のスペクトルは平行フレームバッファ

Table 1 Environments used for measurements of computation time.

CPU	Intel Core i7 920 (2.66 GHz)
Memory	PC3-12800 2 GB × 3 (6 GB)
Graphic board	NVIDIA GeForce GTX 295
OS	Windows7 professional x64
CUDA	Version 3.0

Table 2 Parameters used for computation.

Hologram	
Pixel pitch	10 μm \times 10 μm
Number of pixels	1024 \times 1024
	2048 \times 2048
	4096 \times 4096
Reconstruction wavelength	632.8 nm
Object name	
Object name	Sphere
Number of polygons	112 (visible:56)
Radius	8.2 mm (1024 \times 1024)
	16.4 mm (2048 \times 2048)
	32.8 mm (4096 \times 4096)
Object name	
Object name	Cube
Number of polygons	12 (visible:6)
Length of a side	8.2 mm (1024 \times 1024)
	16.4 mm (2048 \times 2048)
	32.8 mm (4096 \times 4096)

アと呼ぶ複素フレームバッファに格納している。この段階でホログラムと平行な平面上でポリゴン光波のスペクトルが得られているが、平面の奥行き位置がポリゴン毎に異なるため、この平行フレームバッファ上で短距離の並進回折伝搬処理を行い(処理 5)、逆フーリエ変換(処理 6)を行う事で、ポリゴン光波のデータ(e)が得られる。これを物体光波全体のフレームバッファに加算する。

3. 計算速度の測定条件

GPU に実装したポリゴン法と CPU によるポリゴン法との計算速度の比較を行った。測定に用いた環境を Table 1 に示す。比較用の CPU には Intel i7 920 を用い、Hyper-threading 機能をオフにして4コアのみを使用した。一方、GPU の方は GTX 295 の1コアを用いた場合と2コアを用いた場合をそれぞれ計測した。

CPU の側の実装には我々が開発した波動光学計算ライブラリ WaveField を用いている。WaveField に組み込まれた Intel Math Kernel library の FFT パッケージの演算速度は、2048 \times 2048 の2次元 FFT で約 40 ms (4 コア使用時)であり、PC 用の FFT として最速の部類に入るものである。一方、GPU 側の実装には CUDA 3.0 を用い、FFT パッケージとしては、CUDA 開発環境に付属の CUFFT を用いた。なお、CPU の実装では各コアがそれぞれ1つのポリゴンを処理する疎粒度並列化を行っている。

速度計測に用いたホログラムおよび物体のパラメ

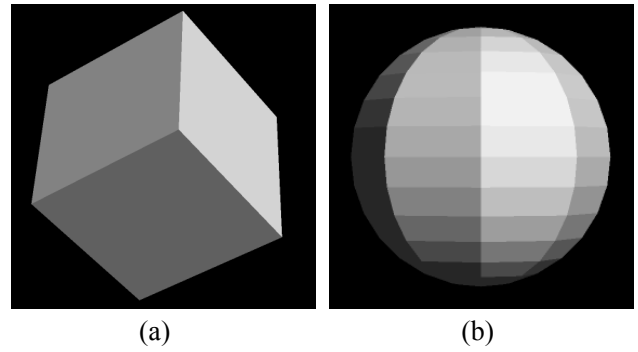


Fig.4 Object models of a cube (a) and sphere (b).

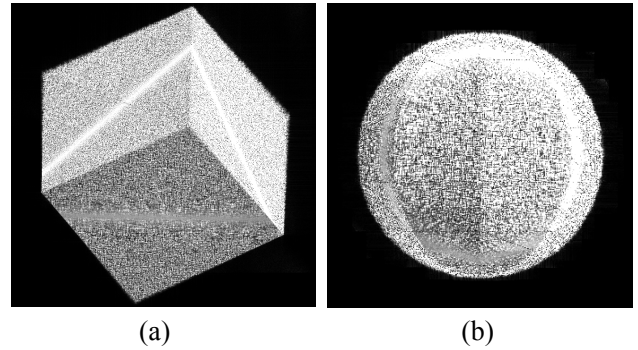


Fig.5 Amplitude images of object fields of a cube (a) and sphere (b).

ータを Table 2 に示す。ホログラムのサイズとしては 1K1K, 2K2K, 4K4K の計 3 パターンを計測した。一方、物体モデルとしては Fig.4 に示す 112 ポリゴンの球と 12 ポリゴンの立方体を使用した。背面カリング処理を行っているため実際に計算するポリゴン数はこれらの半分となる。なお、物体のサイズは、Table 1 に示すとおり、ホログラムサイズに比例して変えている。

4. 実装結果と計算速度の測定結果

GPU で計算した物体光波の振幅分布を Fig.5 に示す。これより、GPU を用いても物体光波の計算が正し

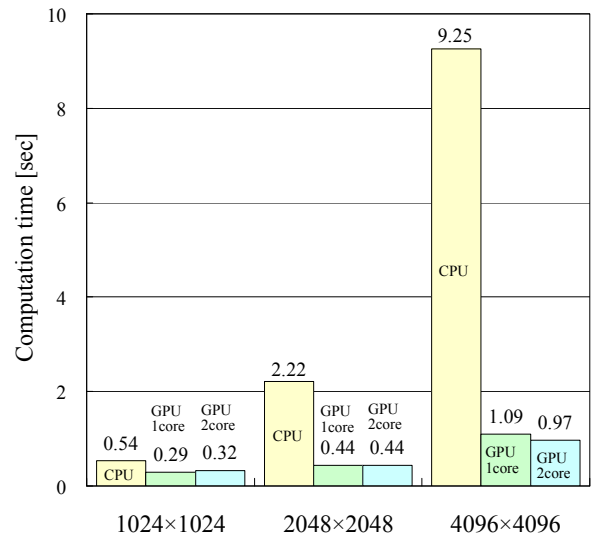


Fig.6 Computation time measured in the cube object.

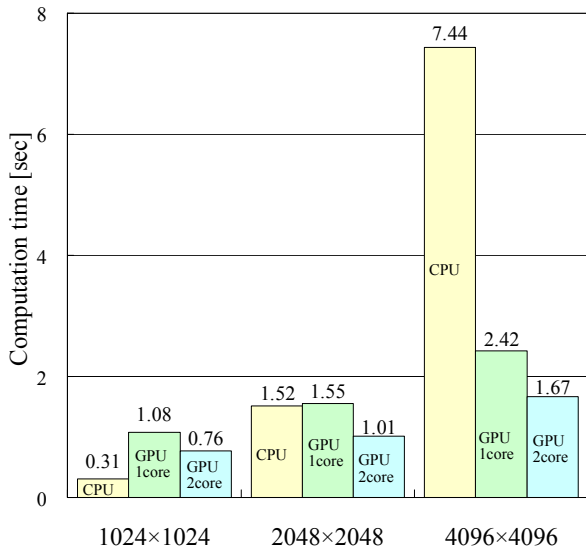


Fig.7 Computation time measured in the sphere object.

く行われている事がわかる. 立方体モデルにおける計算時間の比較を Fig.6 に, また球モデルにおける比較を Fig.7 に示す.

立方体モデルでは, 2048 × 2048 ピクセルの場合, GPU2 コアで 0.44 s であるのに対し, CPU では 2.22 s で約 5 倍, また 4096 × 4096 ピクセルの場合では約 9.5 倍高速に処理が行えている事がわかる.

一方, 球モデルの場合では, 立方体に比べ GPU による計算速度の向上はあまりない事がわかった. 2048 × 2048 ピクセルの場合では, GPU2 コアで約 1.5 倍, 4096 × 4096 ピクセルでは約 4.5 倍 CPU に比べて高速であった. しかし, 1024 × 1024 ピクセルの場合では, 逆に CPU の方が GPU より約 2.5 倍高速であった.

球において GPU による計算速度があまり向上しない理由は, 立方体に比べてポリゴン数が少ないためであると考えられる. 立方体のようなポリゴン数が少ないモデルの場合, モデルを構成する各ポリゴンが大きくなり, 一度に処理するデータ量が増大するため, GPU はその高い演算能力を発揮する事ができる. しかし, ポリゴンサイズが小さくポリゴン数が多いと, GPU の演算能力が発揮できず, またポリゴン毎の計算を並列化できる CPU の疎粒度並列化の効果が大きくなると考えられる. そのため, 少ないピクセル数で多数のポリゴンを処理する場合, GPU を用いるメリットは殆ど無い事がわかった.

なお, GPU を 2 コア使用した場合は 1 コアの場合

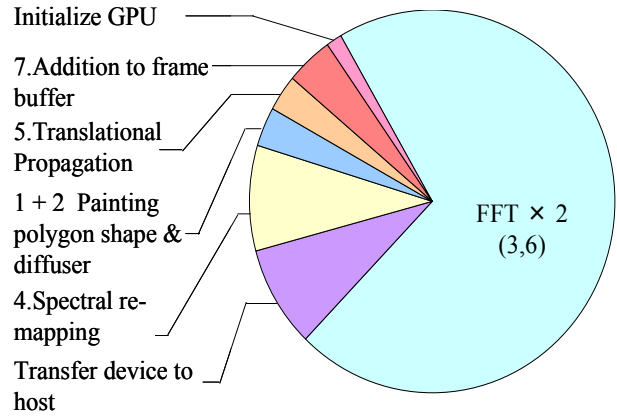


Fig.8 Itemized computation time in GPU

に比べて最大約 1.5 倍程度高速になる事がわかった.

GPU における計算時間の内訳を Fig.8 に示す. これより, GPU における計算処理の殆どを FFT が占めている事がわかる. 従って, FFT を高速に処理出来ると言われる次世代 GPU や, より高速な FFT ライブラリを用いれば更なる高速化が期待できる.

5. まとめ

本研究ではポリゴン法を GPU に実装し, その効果を実測した. その結果, GPU を用いた方が殆どの場合で計算時間が短くなる事がわかった. しかし, 物体モデルのポリゴン数が多い場合やホログラムのピクセル数が少ない場合には CPU と変わらないか, CPU より遅くなってしまう場合もある事がわかった.

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] 三瓶, 朋禄, 市橋, 白木, 中山, 杉江, 高田, 増田, 伊藤: “GPU クラスタを用いた 1800 万画素電子ホログラフィシステム”, 3次元画像コンファレンス 2009 講演論文集, 89 (2009).
- [2] K. Matsushima: “Computer-generated holograms for three-dimensional surface objects with shade and texture”, Appl. Opt. **44**, 4607 (2005).
- [3] K. Matsushima, S. Nakahara: “Extremely High-Definition Full-Parallax Computer-Generated Hologram Created by the Polygon-Based Method”, Appl. Opt. **48**, H54 (2009).
- [4] K. Matsushima: “Formulation of the Rotational Transformation of Wave Fields and Their Application to Digital Holography”, Appl. Opt. **47**, D136 (2008).