

レイトレーシングによる隠面処理を含むリアルタイム電子ホログラフィの検討 Real-time electroholography with hidden surface removal processing based on ray tracing

浜田 端三十
Hashizo Hamada

三谷 永久十
Towa Mitani

鈴木 康平十
Kohei Suzuki

高田 直樹 十
Naoki Takada

1. はじめに

ホログラフィは三次元物体から発せられる物体光を忠実に記録・再生できる方法である。視覚的疲労がなく、立体像を様々な角度から見る事が可能である。このことから、コンピュータで計算したホログラム (CGH: Computer-Generated Hologram) による三次元物体の再生技術 (電子ホログラフィ) は、“究極の三次元テレビ”になるものと考えられている。しかし、CGH の計算量が膨大であることが実用化を妨げている。GPU による CGH 計算は、プログラムの最適化により、GPU の理論性能の約 8 割の速度で計算することができる[1]。複数の GPU (Graphics Processing Unit) を搭載したマルチ GPU クラスタによるリアルタイム電子ホログラフィに関する研究も報告されている[2, 3]。

電子ホログラフィでは、CGH 計算に三次元物体を点群で表したポイントクラウドモデルを使用する。CGH 計算に用いる三次元物体モデルにおいて隠面に点が存在すると、電子ホログラフィで再生される三次元映像においても隠面の点が再生される。視点によっては隠面の点が見えてしまう。この問題を解決するには、隠面処理がなされた三次元モデルの点群データを CGH 計算に使用すればよい。しかし、CGH 計算は膨大であるため、CGH 計算に用いる点群データはあらかじめ用意されていた。本来ならば、視点の移動に合わせて、リアルタイムで隠面処理がなされた点群データを用いて CGH 計算がなされることが望ましい。

本研究では、ポリゴンで構成される 3DCG モデルから隠面処理された点群データを作成し、計算によって作成された CGH を空間光変調器に表示する(図1)。最終的に、一連の処理を 1 枚の GPU (NVIDIA GeForce RTX 3080) を用いて 33ms 以内でリアルタイムに動作させることに成功した。

2. 電子ホログラフィによる三次元映像の再生

従来の電子ホログラフィによる三次元映像の再生を図2に示す。あらかじめ点群データを用意し、PC の補助記憶装置に保存する。保存された点群データから GPU によって CGH を計算する。計算された CGH は画像として GPU のデジタル映像端子に接続された空間光変調器に表示される。空間光変調器は、透過型もしくは反射型 LCD パネルやデジタルマイクロミラーデバイスが用いられる。再生照明光から対物レンズとコリメータレンズによって平行光を作り、CGH が表示された空間光変調器に照射する。表示された CGH によって回折光が生成される。空間光変調器を覗き込むと、空中に元の三次元映像が再生される。

CGH は、再生する三次元物体を構成する点の位置座標から計算される。三次元物体を構成する点群の点数 (物体点数) を N とし、CGH の解像度を $W \times H$ とすると、CGH の計算量は $O(NWH)$ となり膨大となる。物体点数 N に対する 1 枚の

† 高知大学大学院総合人間自然科学研究科

‡ 高知大学教育研究部自然科学系理工学部門

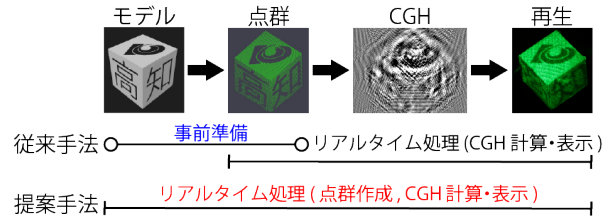


図1 提案手法

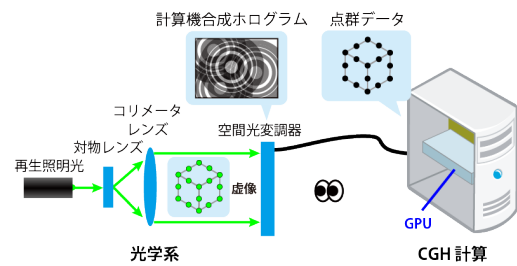


図2 電子ホログラフィによる三次元動画再生

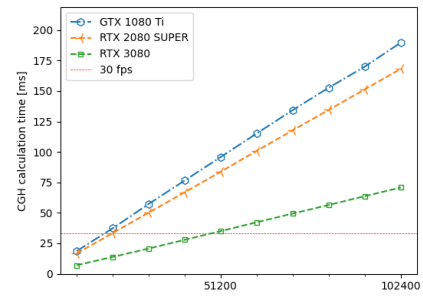


図3 1枚のGPUによるCGH計算時間

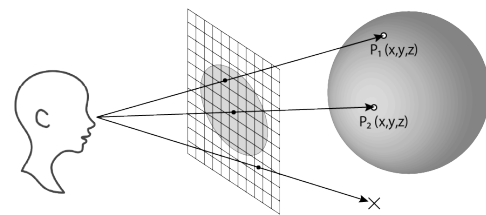


図4 レイトレーシングによる交差判定

GPU による CGH の計算時間を図3に示す[4]。なお、赤の点線は 33ms を示している。NVIDIA GeForce GTX 1080 Ti, RTX 2080 SUEPR, RTX 3080 をそれぞれ 1 枚用いたときの CGH 計算時間を示している。CGH 計算時間は、物体点数に比例している。RTX 3080 を用いても 1 秒間に 30 枚 (30 fps) の CGH を再生できるのは、約 4 万点以下で構成された三次元物体であることがわかる。このように、CGH 計算時間がボトルネックとなる。そのため、従来の電子ホログラフィでは、あらかじめポリゴンからなる 3DCG モデルから隠面処理を行い、点群データを作成していた (図1)。

3. 提案手法

本研究では、図1に示すように3DCGモデルから隠面処理された点群の作成から、CGH再生までをリアルタイムで処理する。これにより、3DCGモデルをインタラクティブに回転などの操作を行った場合でも、リアルタイムに三次元映像を再生することができる。

隠面処理された点群の作成には、レイトレーシングを利用する。通常行われるレイトレーシングでは画素の色を求めるが、交差位置の座標を得るために用いる。図4のように、視点からフレームの1画素を通り光線の経路追跡を行う。これを全ての画素に対して行い、最も近い交差位置の座標である P_1 や P_2 を得ることで、隠面処理された点群を作成できる。例えば、フレームの解像度が $288\text{px} \times 288\text{px}$ のとき、座標の記録用配列は、 $288 \times 288 = 82,944$ 座標分を用意する。この配列数が取得できる座標数の上限である。交差位置があれば座標を記録し、交差位置がなければ任意で決めた座標を記録する。任意で決めた座標以外の座標を用いることで隠面処理された点群として使用できる。実際に作成した点群を図5に示す。正面から見える部分のみ物体点があることがわかる。

提案手法の処理の流れを図6に示す。点群作成プロセスとCGH計算・表示プロセスの2つのプロセスで動作させた。点群作成プロセスでは、モデルの回転などの操作をGUIで行い点群を作成しGPUのメモリに書き込む。CGH計算・表示プロセスでは、GPUのメモリから点群を読み込みCGHの計算と表示まで行う。2つのプロセスで同期をとり交互に処理を行う。計算のみを交互に繰り返すことで、その他の処理を並列に行い高速化している。また、プロセス間でGPUのメモリを共有することで取得した点群の扱いを単純化し高速に物体点を扱えるようにしている。

使用したコンピュータは、CPUにIntel Core i7-8700Kと32GBのメモリ(DDR4-2666)を搭載している。OSにLinux(Ubuntu 18.04.5 LTS)、ソフトウェア環境にOpenGL, NVIDIA CUDA 11.2, NVIDIA OptiX 7.2を用いた。図7に示す3DCGモデルの回転に対する点群の物体点数と隠面処理された点群の作成からCGH計算と表示までの一連の処理(図1)の時間を図8に示す。図7に示す3DCGモデルの回転において、最大で約26,000点の点群を取得しており、また、全ての角度でCGH表示時間が33ms以内となった。

4. まとめ

ポリゴンからなる3DCGモデルから隠面処理された点群データを作成し、点群データから計算し作成したCGHを空間光変調器に表示するまでを、リアルタイムで処理するプログラムを開発した。最終的に、一連の処理を1枚のGPU(NVIDIA GeForce RTX 3080)を用いて33ms以内でリアルタイムに動作させることに成功した。

謝辞

本研究の一部は、日本学術振興会の科研費・基盤研究(C)(課題番号21K11996)、I-0 DATA財団第3回研究開発助成によって行われた。

参考文献

- [1] 三谷永久, 鈴木康平, 濱田端三, 坂口朋哉, 三宮廣海, 中山弘敬, 角江崇, 下馬場朋祿, 伊藤智義, 高田直樹, “コストパフォーマンスに優れたマルチGPU環境電子ホログラフィシステム”(2020).

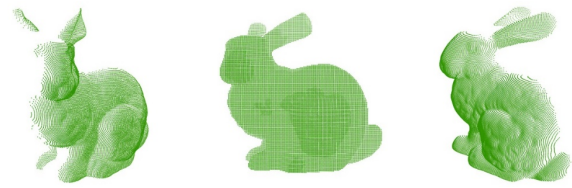


図5 作成した隠面処理された点群モデル[5]

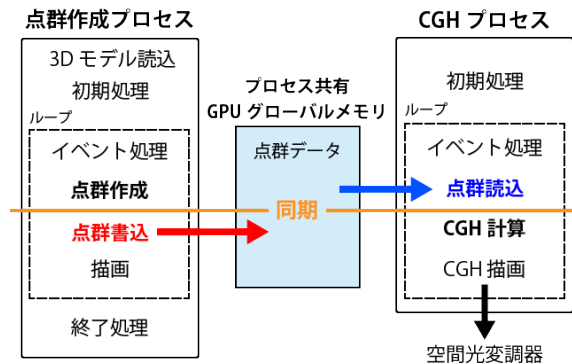


図6 提案手法における処理の流れ

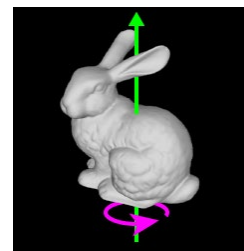


図7 モデルの回転方向[5]

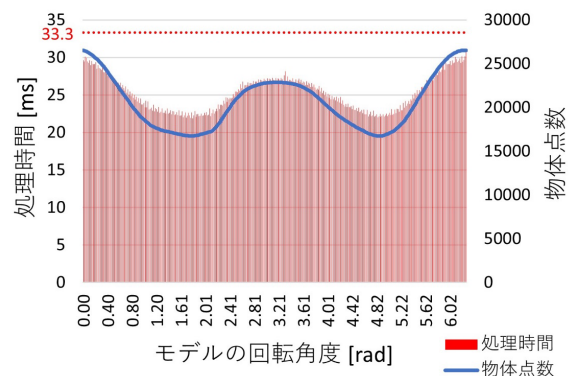


図8 モデルの回転における物体点数と処理時間

- [2] H. Sannomiya, N. Takada, T. Sakaguchi, H. Nakayama, M. Oikawa, Y. Mori, T. Kakue, T. Shimobaba, T. Ito, "Real-time electroholography using a single spatial light modulator and a cluster of graphics-processing units connected by a gigabit Ethernet network," Chinese Optics Letters, Vol.18, Issue 2, pp.020902-(2020).
- [3] H. Sannomiya, N. Takada, K. Suzuki, T. Sakaguchi, H. Nakayama, M. Oikawa, Y. Mori, T. Kakue, T. Shimobaba, T. Ito, "Real-time spatiotemporal division multiplexing electroholography for 1,200,000 object points using multiple-graphics processing unit cluster," Chinese Optics Letters, Vol.18, Issue 7, pp.070901-(2020).
- [4] 三谷永久, 鈴木康平, 高田直樹, "Ampere アーキテクチャのGPUによる振幅型計算機合成ホログラムの計算高速化" 3次元画像コンファレンス 2021.
- [5] Stanford Bunny: <http://graphics.stanford.edu/data/3Dscanrep/>