

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

中清 裕貴 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: nakase@laser.ee.kansai-u.ac.jp

あらまし 全方向視差 CGH で自己オクルージョンを正しく処理できるスイッチバック法に GPU を用いた場合の計算時間短縮の効果を評価した. 高解像度 CGH の計算には GPU のメモリが不十分であるため, 準高解像度 CGH について, 計算全体あるいは部分的に GPU を使用した場合の計算速度の向上率を測定した.

キーワード 計算機合成ホログラム, ポリゴン法, スwitchバック法, GPU

Speedup of switch-back occlusion processing in high-definition CGH using GPU

Yuki NAKASE Kyoji MATSUSHIMA

Department of Electrical and Electronic Engineering, Kansai University

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

E-mail: nakase@laser.ee.kansai-u.ac.jp

Abstract Validity of GPU assist is evaluated for the switchback method that can properly process self-occlusion in full-parallax CGHs. Because GPU memory is not large enough to keep the whole wave field of high-definition CGHs, the computation times are measured in cases where the whole or part of calculation is executed with GPU in quasi high-definition CGHs.

Keyword CGH, Polygon-based method, Switchback method, GPU

1. はじめに

近年, コンピュータホログラフィ技術の進歩によって, 数 10 億ピクセル以上の高解像度計算機合成ホログラム(以下 CGH)では光学ホログラフィに近い再生像が得られるようになった. コンピュータホログラフィで広い視域を得るためには, CGH の干渉縞画像のピクセル間隔を小さくしなければならない. そのため, 十分大きな画像サイズ

を得るためにはピクセル数を増やす必要がある. 実際, ホログラムらしい立体感が得られる広視域大画面の高解像度 CGH では数 10 億ピクセル以上が必要であり, その計算量は莫大になる. またそのため, 非常に長い計算時間がかかる. そこで, 我々は計算時間短縮のための波動光学的な数値合成法としてポリゴン法を提案している[1].

CGH において自然な再生像を得るために

は隠面消去も重要である。ポリゴン法は波動光学的な手法であるためシルエット法などの波動光学的な手法と相性がいい。ここで、シルエット法とは、遮蔽物のシルエットをマスクとして光波遮蔽を行う近似的手法である[2]。

シルエット法には物体のシルエット形状のマスクで光波を遮蔽する物体単位シルエット法とポリゴン形状のマスクでポリゴン毎に光波を遮蔽するポリゴン単位シルエット法がある。物体単位シルエット法は物体の数と同じ回数だけの処理で隠面消去を行うため処理が高速である[3]。しかし、物体単位シルエット法では物体相互間のオクルージョンを再生することできるが、物体自体に凹面がある場合に生じる自己オクルージョンを正しく再生することができない。自己オクルージョンを正しく再生するためにポリゴン単位シルエット法を用いればよいが、その場合、ポリゴンの数と同じだけ隠面消去を行わなければならないため計算時間が長くなってしまいう問題があった。この問題を解決するために、Babinetの原理と部分光波伝搬を用いた高速な隠面消去法としてスイッチバック法が提案されている[4]。

計算機の性能は年々急速に向上して来ているが、高解像度 CGH の計算にはまだまだ長い時間がかかる。CPU よりも高い演算性能を持つ GPU(Graphics Processing Unit) を汎用計算に用いる GPGPU(General Purpose GPU) によって波動光学的な計算の時間が削減できることも報告されているが[5]、高解像度 CGH の作成には莫大なメモリが必要になるため、ビデオカード用の GPU では最新の物でも本格的な高解像度 CGH の計算にはメモリが不十分である。そのため本研究では、 $8K \times 8K$ と $16K \times 16K$ ($1K=1024$) の準高解像度 CGH をスイッチバック法により計算した場合について、計算全体に GPU を用いた場合と部分的に用いた場合のそれぞれで GPU による計算速度の向上を評価した。

2. スイッチバック法とサブモデル分割

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。シルエット開口を用いると、開口部分の光波の伝搬計算だけで光波遮蔽処理ができるため、大幅に計算量を減らすことができる。スイッチ

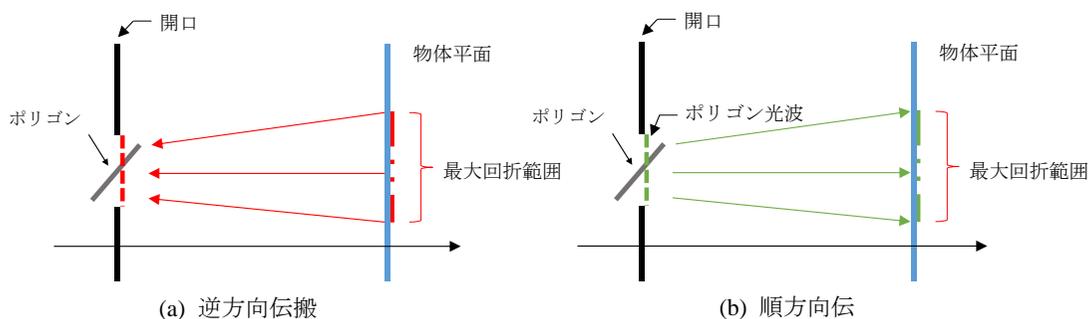


Fig.1 スイッチバック法における一つのポリゴンの処理

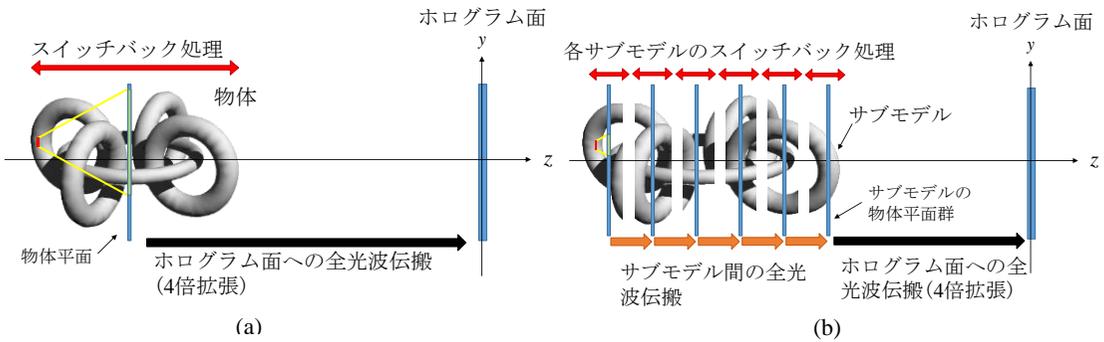


Fig.2 サブモデル分割を用いない場合(a)と用いた場合(b)のスイッチバック法

バック法の原理と定式化の詳細については、文献[4]を参照して頂きたい。

スイッチバック法における1つのポリゴンの処理を Fig.1 に示す。一つのポリゴンの処理では、(a)に示すように、まず物体平面上の全光波からポリゴン光波の最大回折範囲を部分光波として切り出し、ポリゴンの位置まで逆方向に伝搬してシルエット開口によるマスク処理を行う。次に、(b)に示すように、ポリゴン光波を加算して物体平面まで順方向伝搬し、全光波に加算する。

この手法では、Fig.2 に示すように物体モデルが奥行方向に長い場合、物体平面上のポリゴン光波の回折範囲が広がってしまうため、前述の順方向・逆方向伝搬計算で必要なサンプリング数が多くなってしまいます。この問題を解決するために物体モデルを奥行方向の複数のサブモデルに分割する手法を用いる。この手法では、まず最奥のサブモデルについてスイッチバック法による処理を行い、そのサブモデルの中央付近に設置した物体平面上で物体光波を求める。この光波を次のサブモデルの物体平面まで全光波伝搬し、再びスイッチバック処理を行う。これをホログラムに最も近いサブモデ

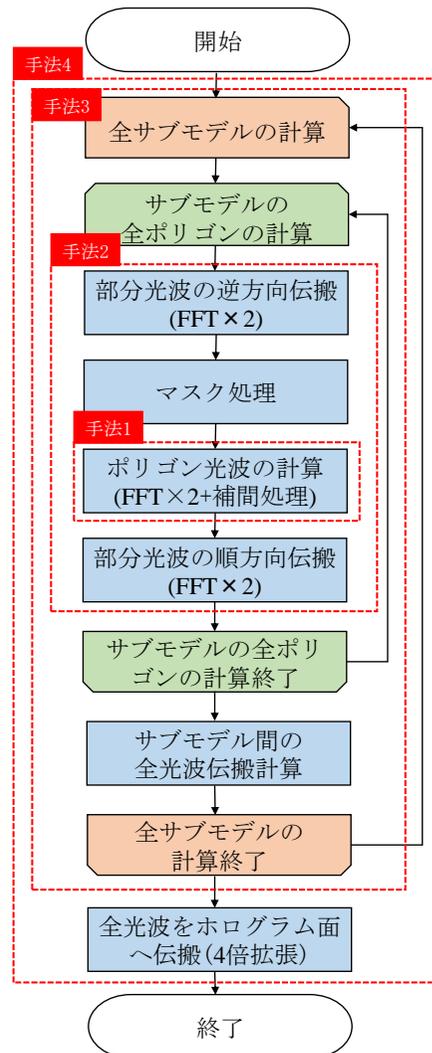


Fig.3 物体光波計算手順。赤色破線の範囲をGPUで処理している

ルまで繰り返す。これによりポリゴンと物体平面の距離が減少するため必要なサンプリング数を削減することができる。

3. スイッチバック法による物体光波の計算手順

サブモデル分割を用いたスイッチバック法の計算手順を Fig.3 に示す。まず、最奥にある一つのサブモデルについて、そのサブモデルに含まれる全ポリゴンを最奥から順に処理する。一つのポリゴンの処理は、前述のとおり、逆方向伝搬とマスク処理、ポリゴン光波の生成と加算、順方向伝搬からなっている。合計で6回のFFTが必要であるが、これらの処理はシルエット開口の範囲だけで良いため全光波よりはるかに小さな部分光波のみの処理である。

一つのサブモデル内の全ポリゴンのスイッチバック隠面除去処理が終わったら、得られた全体光波を次のサブモデルの物体平面まで伝搬計算する。これは全光波の伝搬であるため、サンプリング数が多く時間がかかる。ただし、サブモデル間の伝搬距離

は短いため、一般にサンプリング窓の4倍拡張は必要ない。伝搬した全光波に対して次のサブモデルにおけるスイッチバック隠面除去処理を行う。

同様の計算を最奥から順に最後のサブモデルまで繰り返し、全てのサブモデルを処理した後、全光波をホログラム面まで伝搬することで CGH における物体光波を計算することができる。なお、この最後の全光波伝搬計算は一般に距離が長く、4倍拡張が必要である。

4. GPU によるスイッチバック法の支援

前述のとおり、GPU のローカルメモリが足りないため、すべての処理を GPU で行うことは困難である。そのため、GPU で処理する範囲を変えた4種類の手法を評価した。それぞれの手法で GPU が処理する範囲を Fig.3 に示している。

手法 1

Fig.3 と 4 に示すように、ポリゴン光波生成計算のみを GPU によって行う場合を手

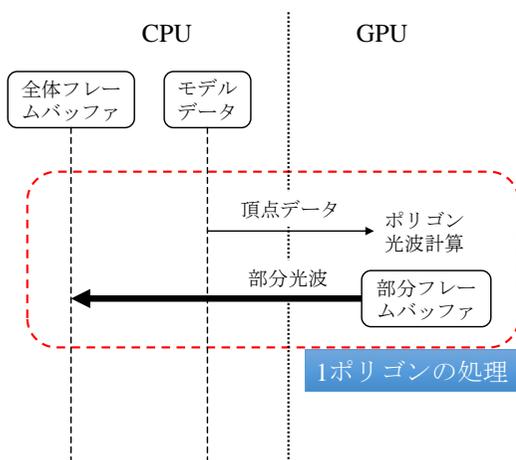


Fig.4 GPU における処理とデータ転送(手法 1)

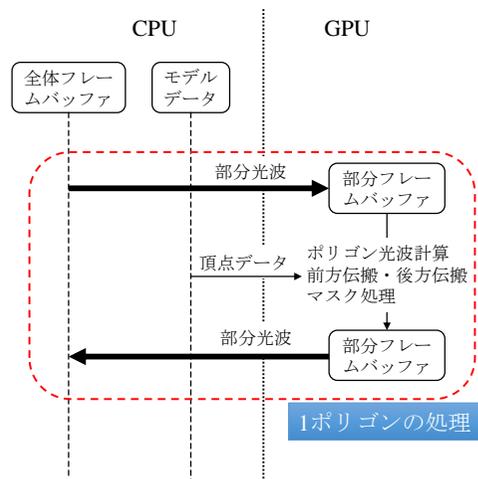


Fig.5 GPU における処理とデータ転送(手法 2)

法1とした。この手法では、GPU側ではポリゴン光波の計算に必要なフレームバッファのみが必要であるため、GPU側に必要なメモリが最も少なくすむ。

データの転送については、一つのポリゴンについて1回だけポリゴン光波の計算結果(部分光波)をGPUからCPUへ送ることになる。これが処理するポリゴンの回数分必要となる。

手法2

Fig.5に示すように、スイッチバック法における一つのポリゴンの計算の全過程をGPUによって行う場合を手法2とする。この手法ではGPU側に部分光波伝搬のフレームバッファとポリゴン光波生成のためのフレームバッファが必要になるため、必要なメモリが手法2よりもやや多くなる。

この手法では、CPU側に保持した全体光波から切り出した部分光波のGPUへの転送と、処理した部分光波の逆方向の転送がポリゴン毎に1回ずつ必要である。

手法3

この手法では、Fig.6に示すように、スイッチバック法における計算のほぼすべてをGPUで行うが、最後の全光波のホログラム面までの伝搬計算のみをCPUで行う。これは、この伝搬計算のみ4倍拡張が必要なため、大きなメモリが必要であるためである。

この手法では、GPU側で全光波と部分光波のフレームバッファ、ポリゴン光波生成計算に必要なメモリのすべてが必要である。中でも全光波のフレームバッファは16K×16KのCGHでは2GBとなるためGPUのメモリの大部分を占めることになる。ただし、データ転送については、全光波のフレームバッファをGPUからCPUへ一度だけ転送するだけで済む。

手法4

Fig.7に示すように、この手法では光波データの全てをGPU側に保持し、すべての計算をGPUで行う。しかし、手法3においてCPU側で行った4倍拡張を用いたホログラ

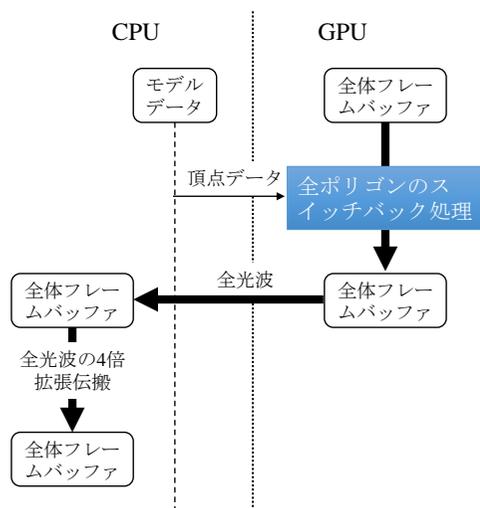


Fig.6 GPUにおける処理とデータ転送(手法3)

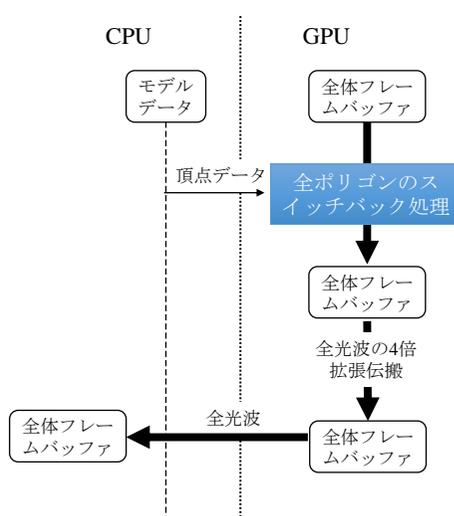


Fig.7 GPUにおける処理とデータ転送(手法4)

ム面までの全光波伝搬計算も GPU で行うため、16K×16K の CGH では GPU のメモリ上で全ての光波データを保持することができない。そこでこの場合は物体光波を二分割し、シフテッド角スペクトル法を用いて伝搬計算を行っている。

5. 速度比較

5.1. 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。また、ポリゴン数による比較を行うために同じ物体でポリゴン数が違うものを用意した。用いた物体モデルと座標系を Fig.8 に、またパラメータを Table 1 に示す。

5.2. 計測環境

GPU によるスイッチバック法を用いたポリゴン法と CPU によるスイッチバック法を用いたポリゴン法の手法 1 から手法 4 までの速度比較を行った。計測に用いた環境を Table 2 に示す。

5.3. 計算時間の測定結果

GPU を用いない場合の計算時間を Fig.9 に、また GPU を用いた各手法による計算時間の測定結果を Fig.10 と 11 に示し、速度向上率を Fig.12 に示す。ここで、速度向上率を

$$R = \frac{T_{\text{CPU}}}{T_{\text{GPU}}} \quad (1)$$

と定義している。 T_{CPU} と T_{GPU} はそれぞれ CPU と GPU による計算時間である。

これらの結果からわかるとおり、全ての場合で GPU を用いると計算時間が短縮し

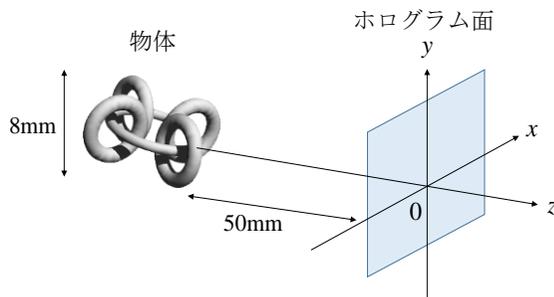


Fig.8 3D シーンとモデルの形状

Table 1 CGH のパラメータ

ピクセル数	8,192 × 8,192 16,384 × 16,384	
ピクセル間隔	0.8μm × 0.8μm	
波長	632.8 nm	
モデル	モデル 1	モデル 2
ポリゴン数	5000	2500
サブモデル分割数	16	

Table 2 測定環境

ホスト	
CPU	Intel Core i7-6800K (3.40 GHz)
メモリ	32 GB
コア	6
デバイス	
GPU	NVIDIA GeForce GTX TITAN X (1.08 GHz)
メモリ	12 GB
CUDA コア	3072
ソフトウェア	CUDA 7.5

ていることが分かる。最も速度向上率が高かったのは手法 3 で 16K×16K のモデル 2 を処理した場合であり、最も低かったのは手法 2 で 8K×8K のモデル 1 を処理した場合であった。GPU で処理する範囲が大きいほうが速度が向上すると思われたが、8K×8K では手法 2 の方が手法 1 より遅い結果となった。これは手法 2 のデータ転送量が多いためと考えられる。一方、16K×16K で

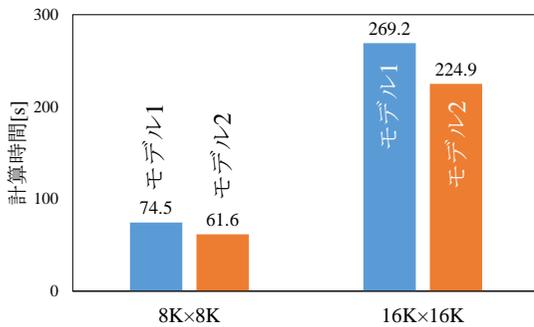


Fig.9 CPU による測定結果

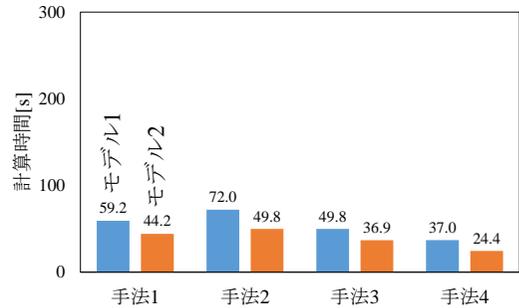


Fig.10 GPU による 8K×8K の測定結果

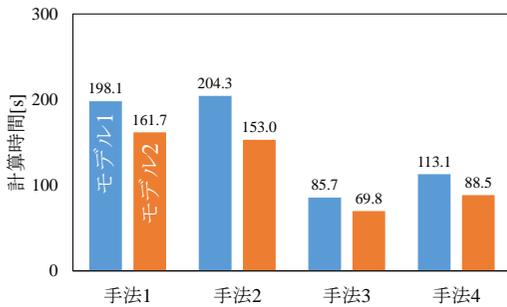


Fig.11 GPU による 16K×16K の測定結果

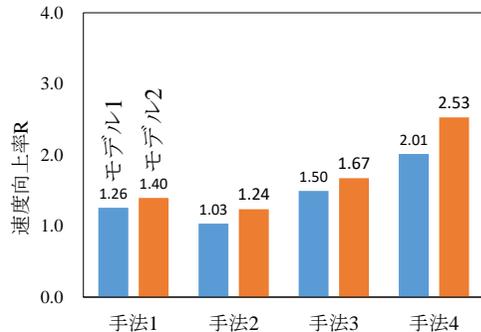


Fig.12 8K×8K 速度向上率

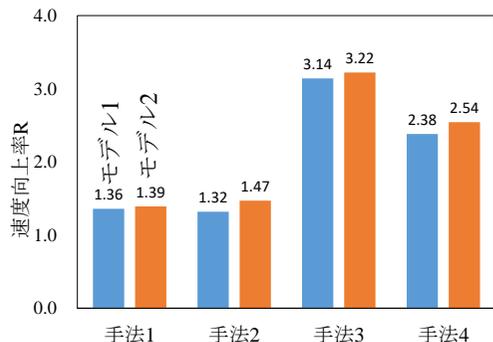


Fig.13 16K×16K 速度向上率

は、手法 4 が手法 3 よりも遅い結果となった。これは、メモリが足りずに光波を分割した影響を大きく受けているためである。同じ手法 3 で比較すると、8K×8K よりも 16K×16K の方が速度向上率が高い。GPU では各ピクセルを並列に処理する為、ピクセル数が多い方が効率が良くなるためこのような結果となると考えられる。一方、スイッチバック法ではポリゴンを並列処理しないため、いずれの手法でもポリゴン数が少ない方が処理時間が短くなった。

6.まとめ

現在のところ、スイッチバック法を用いたポリゴン法によって高解像度 CGH の計算を行うために十分なメモリをもつ GPU を用意することができない。そこで本研究では全ての計算に GPU を用いるだけでは

なく、一部の計算に GPU を用いる手法も実装し速度比較を行った。

当然ながら、GPU で処理する部分が多いほど高い速度向上率が得られる結果となった。しかし、光波を分割して伝搬を行った場合には、逆に速度向上率が低くなっている。以上の点から、手法 3 が最も速度向上率とメモリ使用量のバランスが取れていると言える。しかし、本格的な高解像度 CGH

では、手法 3 でも全体光波をメモリに格納しきれないため、物体光波を分割する必要がある。なお、物体光波を分割せずに 4 倍拡張付きの全光波伝搬が行える程度の解像度の CGH であれば手法 4 の速度向上率が手法 3 を上回ることが分かった。

7.謝辞

本研究は、JSPS 科研費 15K00512, 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。

文 献

- [1] K. Matsushima, “Computer-generated holograms for three-dimensional surface objects with shade and texture”, *Appl. Opt.* **44**, 4607-4614(2005).
- [2] K. Matsushima and A. Kondoh, “A wave optical algorithm for hidden-surface removal in digitally synthetic full-parallax holograms for three-dimensional objects”, *Practical Holography XVIII and Holographic Materials X*, SPIE Proc. #5290, 90-97(2004).
- [3] K. Matsushima and S. Nakahara, “Extremely high-definition full-parallax computer-generated hologram created by the polygon-based method”, *Appl. Opt.* **48**, 34, H54-H63 (2009).
- [4] 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).
- [5] T. Shimobaba, T. Ito, N. Masuda, Y. Ichihashi, and N. Takada, “Fast calculation of computer-generated-hologram on AMD HD5000 series GPU and OpenCL”, *Opt. Express* **18**, 9955-9960 (2010).