

A-008

モンテカルロ法を用いた光散乱シミュレーションの GPU による高速化 Speeding up of light transport simulation by Monte Carlo method by using GPU

伊藤 夏織[†] 村野 弘樹[†] 宮 兆喆[†] 津村 徳道[‡] 角江 崇[†] 下馬場 朋禄[†] 伊藤 智義[†]
Kaoru Ito Koki Murano Zhaozhe Gong
Norimichi Tsumura Takashi Kakue Tomoyoshi Shimobaba Tomoyoshi Ito

1. 背景・目的

皮膚に光を照射すると、皮下の生体組織内で光は多重散乱し再び皮膚表面に射出される。この射出される光の割合を表す反射率や光の経路が、近年、美容分野や医療分野をはじめとする様々な分野で利用されている。生体組織内での光散乱シミュレーションモデルの一つとして、モンテカルロ法を用いた Monte Carlo Modeling of Light Transport in Multi-layered Tissues (以降、MCML とする) [1] がある。モンテカルロ法とは、乱数を使用して確率的に計算し、統計学的に解を推定する手法である。しかし精度の良い解を推定するためには大量のシミュレーションが必要となり、膨大な計算時間を要するという問題点が存在する。

本研究では、この問題点を解決するために、MCML を GPU(Graphics Processing Unit)に実装し、計算時間の削減を目的とした。また、GPU と CPU に MCML を実装し、精度比較と速度比較を行った。

2. MCML の GPU への実装

2.1 MCML とは

図 1 に人間の生体組織である皮膚は層構造になっており、大まかに皮膚の表面から表皮、真皮、皮下組織で構成されている。主に表皮にはメラニン、真皮にはオキシヘモグロビンやデオキシヘモグロビンが分布している。MCML ではそれらの色素や水などを、光を散乱・吸収する散乱・吸収体とし、各層で均一に分布している散乱・吸収層と仮定する。散乱・吸収層と仮定することで、光を粒子(光子)として扱うことができる。散乱・吸収層に入射された光子は、乱数を基に移動し多重散乱する。散乱した光子が表皮から射出されると反射光となり、同様に真皮から射出されると透過光となる。

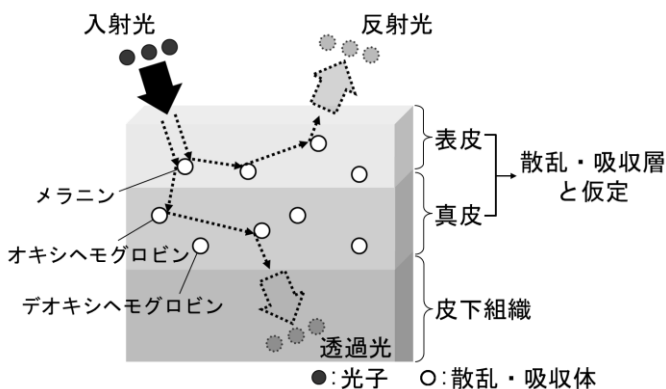


図 1 皮膚モデル

本研究では、表皮、真皮を散乱・吸収層とした皮膚モデルを想定し、反射光を内部反射率、透過光を透過率として求める。図 2 に MCML のシミュレーションの流れを示す。

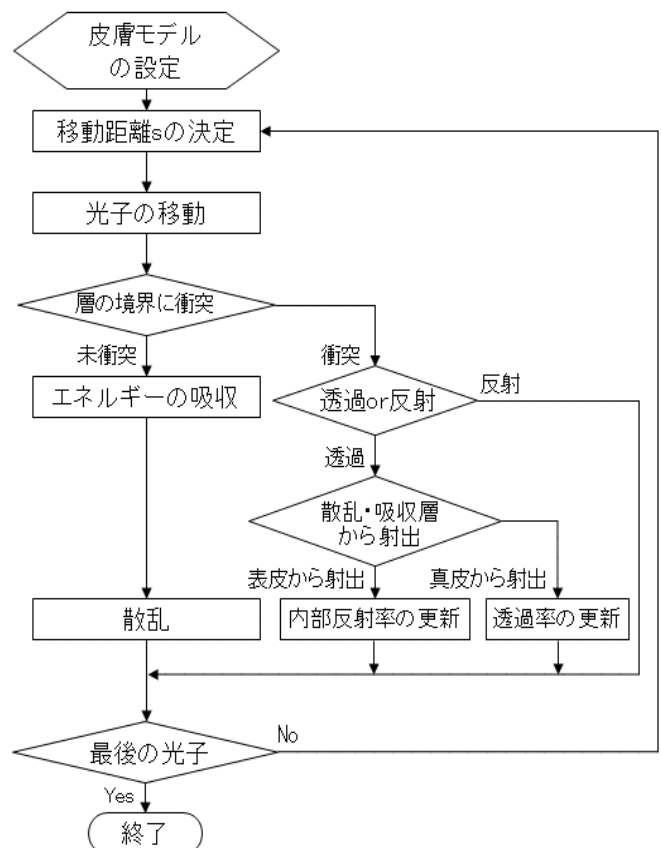


図 2 MCML のシミュレーションの流れ

入射された光子が、散乱を繰り返し表皮または真皮から射出される、もしくはエネルギーを失い消滅するまで計算し、この過程を入射された光子数分シミュレートを繰り返す。MCML では、精度を得るために光子 100 万個のシミュレートが必要である。

2.2 GPU への実装

GPU は、グラフィックス処理専用の演算装置で、浮動小数点の加算・乗算を得意とする。また、複数のプロセッサで並列に演算処理できるといった特長をもつ。本研究では、GPU の 1 つのスレッドに 1 個の光子を割り当て、同時に複数の光子の過程を計算し並列処理を行った。計算が終わったスレッドには、新たな光子を割り当てることにより、スレッドの占有率を高めた。

3. 実験方法

GPU に実装した MCML (以降, GPU-MCML とする) と, CPU に実装した MCML (以降, CPU-MCML とする) において, 速度比較と精度比較を行った. 表 1 に実験で使用した GPU と CPU を示す. また, GPU の総スレッド数は 1 万とした. 表 2 に実験条件を示す. 可視光を想定した 400nm~700nm の波長を 10nm 刻みで, 各波長につき 100 万個の光子のシミュレーションを行った.

表 1 使用した GPU と CPU

| | GPU(Tesla K20) | CPU(Corei7-2600) |
|----------------|-----------------------------|------------------|
| コア数 | 2,496 | 1 |
| クロック数 [GHz] | 0.71 (GPU) 2.60 (memory) | 3.40 |

表 2 実験条件

| 波長 | 400nm~700nm |
|--------|-------------|
| 入射光子数 | 100 万個 |
| スレッド数 | 100 |
| ブロック数 | 1000 |
| 総スレッド数 | 1 万 |

4. 結果

図 3 に, GPU-MCML の内部反射率と透過率を示す.

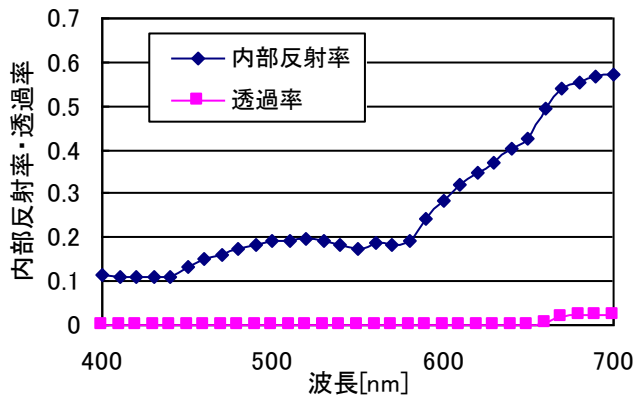


図 3 GPU-MCML の内部反射率と透過率

表 3 に, GPU-MCML と CPU-MCML の内部反射率と透過率の精度比較を示す. GPU-MCML は CPU-MCML とほぼ同精度であることが確認できた.

表 3 精度比較

| | 誤差率[%] |
|-------|--------|
| 内部反射率 | 0.68 |
| 透過率 | 0.47 |

次に表 4 に合計計算時間を示す. GPU-MCML は 31 波長を 98 秒で計算することができ, CPU-MCML に比べて 45 倍高速化した.

表 4 速度比較

| | 合計計算時間[sec] |
|----------|-------------|
| GPU-MCML | 98 |
| CPU-MCML | 4,476 |
| 高速化比 | 45 倍 |

5. 結論

MCML を GPU に実装し, CPU に実装した MCML に比べて 45 倍速い結果となり, 計算時間の削減に成功した.

本研究では皮膚モデルを表皮と真皮の 2 層と仮定してシミュレーションを行ったが, さらに多層の皮膚モデルを仮定することで, より現実的な結果を得ることが可能である. 皮膚モデルが複雑になると分岐が増えるため, 計算時間が増えることが予想される. そこで, 現在は 1 個の光子を 1 スレッドに割り当てているが, 各層を 1 スレッドもしくは 1 ブロックに割り当てることで, 分岐を削減できると考えている.

参考文献

- [1] L.Wang, and S.Jacques, "Monte Carlo modeling of light transport in multi-layered tissues in standard C", University of Texas MD Anderson Cancer Center (1992).
- [2] 豊田 彩織, 村野 弘樹, 山内 緑, 山内 拓也, 増田 信之, 下馬場 朋祿, 伊藤 智義, 津村 徳道, "生体組織における光散乱モンテカルロ・シミュレーションのグラフィックプロセッシングユニット(GPU)による高速化", 第 59 回応用物理学会(口頭発表)(東京), 2012.03.16.

† 千葉大学大学院 工学研究科 Graduate School of Engineering, Chiba University, Chiba, Japan

‡ 千葉大学大学院 融合科学研究科 Graduate School of Advanced Integration Science, Chiba University, Chiba, Japan