

## レイトレーシング法に特化したGPUによる 電波伝搬シミュレーションの高速化

荒生 太一<sup>†</sup> 成見 哲<sup>†</sup>

電気通信大学大学院 情報理工学研究科<sup>†</sup>

### 1. はじめに

近年, ITS(高度道路交通システム)での車車間・路車間無線通信技術や5G技術の発展等, 無線通信技術がますます発展している。実世界での測定には多くのコストが必要であるため, 電波の伝わり方(電波伝搬)をコンピュータで計算する電波伝搬シミュレーションが盛んに行われてきた。無線通信の大容量・高周波化および解析領域の大規模化に伴い解析にはレイトレーシング法が良く用いられている。

2018年に発売されたNVIDIA社製のGPU(Graphics Processing Unit)であるRTXシリーズではレイトレーシング法の計算を高速化するために従来の汎用プロセッサに加えてRTコアと呼ばれる専用プロセッサを搭載している。レイトレーシング法に近い計算問題であれば同様に高速化することが可能である[1]。本研究ではNVIDIA RTXを用いて電波伝搬シミュレーションの高速化を行う。

### 2. 既存技術・既存研究

#### 2.1 レイトレーシング法

レイトレーシング法は送信点から発射された電波が解析領域内で反射や回折を繰り返し受信点に到達するまでの経路を探索する手法であり, 大きく分けてイメージング法とSBR(Shooting and Bouncing Rays)法の2つが存在する(図1)。イメージング法は反射面の組み合わせから鏡像点を求めることでレイの軌跡を厳密に求める手法で高精度であるが反射面や反射回数が増えるにつれて計算量が指数的に増加してしまう。

SBR法は送信点からレイを一様に発射しその軌跡を逐次追跡する手法である。受信点に厳密にレイが届くことはほばないため, 受信点の周りに一定サイズの受信領域を設置する。イメージング法よりも計算量が少ないが, 追跡するレイの本数や受信領域のサイズが適切でない場合精度が低下する。特に同一経路のレイを2回カウントしてしまう場合があり, 精度向上のためにはこれを除去する必要がある。

Accelerating Radio Propagation Simulations with GPUs  
Specializing in the Ray Tracing Method

Taichi Aro<sup>†</sup> Tetsu Narumi<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Informatics and Engineering, The University of Electro-Communications

本研究では両者を組み合わせたSBR-image法[2]を用いた。SBR法でレイが通る反射面を計算した後, その情報をもとにイメージング法で補正を行うことでSBR法と同等の計算量で精度の高い計算を行うことができるが, GPUでの実装が複雑になる。

#### 2.2 NVIDIA OptiX [3]

レイトレーシング法で最も計算時間がかかるのはレイと交差するオブジェクトを探索する処理であり, RTXのRTコアはこの交差判定処理に特化している。RTコアを使用できるAPIはいくつか存在しているが, 本研究ではNVIDIA OptiXを用いた。これは, OptiX以外のAPIはゲームのようなリアルタイム処理に重きを置いているためである。OptiXはレイの振る舞いをユーザーが自由に記述できる他, オブジェクトを木構造に格納することで交差判定を行う回数を大幅に削減することができる。

#### 2.3 既存研究

電波伝搬シミュレーションにOptiXを用いた研究としてミリ波帯を用いた屋内環境[4]や大規模トンネル内を対象としたもの[5], 汎用ゲームエンジンで電界計算を行うためのもの[6]が存在する。これらの研究はシミュレーション精度の議論が中心であり, 高速化に関する議論があまり行われていないという点で本研究とは異なる。

### 3. システム概要

OptiXを用いてSBR-image法を計算するプログラムを作成した。大まかな処理の流れを以下に示す。

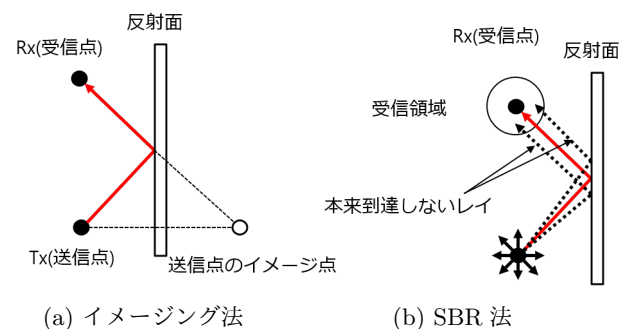


図1: 各手法の概要図

1. シミュレーションに必要なパラメータ (レイの最大反射回数, 解析領域情報, 周波数, 送信機と受信機の位置等) を入力.
2. それらの情報を GPU に転送し, OptiX で SBR 法の計算を行う. このときレイがどの反射面と衝突したかの経路情報を配列に格納しておく.
3. 得られた経路情報から GPU でイメージング法の処理を行う.
4. 同一経路を辿ったレイを除去し, 総電界を計算して CPU に転送し結果を表示する.

二重カウント除去の手法としてイメージング法で後処理を行う際に計算される受信機に到達する直前の鏡像点 (最終鏡像点) を用いた. この座標が同じ場合, 二重カウントとして扱う. こうすることで反射回数が増えても比較する要素数を一定に保つことができる.

#### 4. 評価

計算速度の比較を行う前に, 実装したプログラムが正しく計算を行えているか確認した. 結果を図 2 に示す. 解析領域として空洞の直線トンネルを用いた. SBR-image 法は SBR 法に比べて高精度であり, かつ GPU 版と CPU 版の誤差も少ないことが確認できた.

次に実装した GPU 版の SBR-image 法の計算時間を CPU 版の SBR-image 法の計算時間と比較した. 結果を図 3 に示す. 解析領域として  $50 \times 4 \times 50$ [m] の部屋を用いた. レイの本数が少ない, すなわち負荷が低いときは GPU 版の計算時間は CPU よりも長い. これはデータ転送等のオーバーヘッドが計算時間よりも長くなってしまっているためであり, 負荷が高くなるほど GPU 版の方が計算時間が短くなっている. 今回の条件ではおよそ 30 倍程度の高速化となったが, シミュレーションに用いた解析領域はレイトラッキング部分の計算負荷が非常に小さい. 従って, より大規模な領域のシミュレーションを行う際はより高速に計算できると考えられる.

#### 5. おわりに

レイトラッキングライブラリである OptiX を用いて SBR-image 法を実装した. プログラムを CPU と RTX で実行したところ, 低負荷のシーンでも 30 倍程度の高速化が達成された. 今後の課題として回折・透過現象の実装や二重カウント除去の高速化が挙げられる.

#### 参考文献

[1] Ingo Wald, Will Usher, Nathan Morrical, Laura Lediaev, and Valerio Pascucci. RTX Beyond Ray Tracing: Exploring the Use of Hardware Ray Tracing Cores for Tet-Mesh Point Location. In Markus Steinberger and Tim Foley, ed-

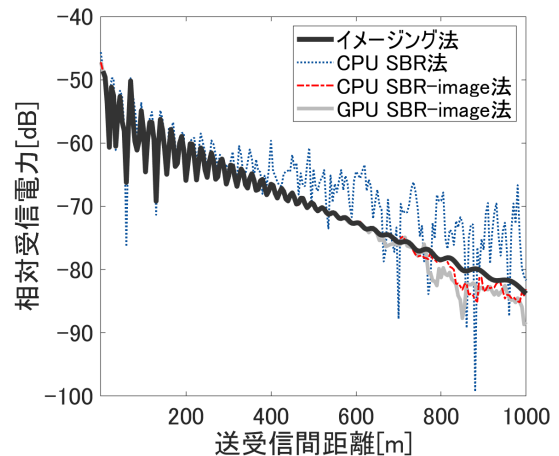


図 2: 各手法の精度比較

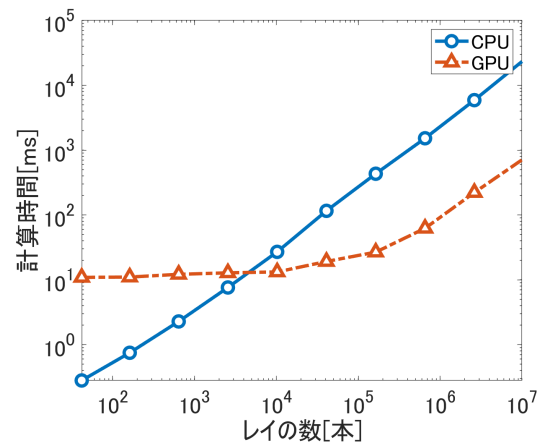


図 3: CPU と GPU の計算時間の比較

itors, *High-Performance Graphics - Short Papers*. The Eurographics Association, 2019.

[2] Shin-Hon Chen and Shyh-Kang Jeng. Sbr image approach for radio wave propagation in tunnels with and without traffic. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 45, No. 3, pp. 570–578, 1996.

[3] Steven G. Parker, James Bigler, Andreas Dietrich, Heiko Friedrich, Jared Hoberock, David Luebke, David McAllister, Morgan McGuire, Keith Morley, Austin Robison, and Martin Stich. Optix: A general purpose ray tracing engine. *ACM Transactions on Graphics*, August 2010.

[4] Robert Felbecker, Leszek Raschkowski, Wilhelm Keusgen, and Michael Peter. Electromagnetic wave propagation in the millimeter wave band using the nvidia optix gpu ray tracing engine. In *2012 6th European Conference on Antennas and Propagation (EUCAP)*, pp. 488–492, 2012.

[5] Blake A Troksa. Gpu accelerated cone based shooting bouncing ray tracing. Master's thesis, Colorado State University, Electrical and Computer Engineering, 2019.

[6] Esteban Egea-Lopez, Jose Maria Molina-Garcia-Pardo, Martine Lienard, and Pierre Degauque. Opal: An open source ray-tracing propagation simulator for electromagnetic characterization. *PLOS ONE*, Vol. 16, No. 11, pp. 1–19, 11 2021.