

令和 6 年 5 月 9 日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K19763

研究課題名（和文）レイトレーシング加速機構を備える画像処理ハードウェアを用いた高性能計算科学の創成

研究課題名（英文）Creation of high-performance computational science using graphics hardware having hardware ray-tracing acceleration unit

研究代表者

大島 聡史（Ohshima, Satoshi）

九州大学・情報基盤研究開発センター・准教授

研究者番号：40570081

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：近年のGPUは高速な計算装置として広く活用されている。一方で本来の用途である3DCGの描画処理に目を向けると、高精細な3D描画が可能だが実行に時間がかかるレイトレーシング処理を高速に行う専用ハードウェアを搭載したGPUの普及が進んでいる。このハードウェアはレイトレーシング処理に用いるレイトレース法に必要な「レイの衝突判定」を高速に行うものであり、レイトレース法は計算科学分野においても重要な計算である。そこで本研究では、この専用ハードウェアを計算科学アプリケーションから活用する方法について研究を行った。主な実例としては電波の伝搬損失計算に利用し、高い性能が得られることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年のGPUは高速な計算装置として広く活用されている。一方で本来の用途である3DCGの描画処理向けには高精細な3D描画に有効なレイトレーシング処理を高速に行うことができる専用ハードウェアを搭載したGPUの普及が進んでいる。この専用ハードウェアは光線の衝突判定を高速に行う機能を有するが、その処理内容は科学技術計算でも使われているものであるため、うまく活用することができれば様々な計算科学アプリケーションの高速化に役立つ可能性がある。本研究では電波の伝搬損失計算の高速化を達成した。本研究が先導事例となることで、計算科学分野におけるGPUのさらなる活用や、応用研究の加速が期待される。

研究成果の概要（英文）：In recent years, GPUs have been widely used as high-speed computing devices. On the other hand, when we look at the original use of GPUs for 3DCG rendering processing, GPUs equipped with dedicated hardware for high-speed ray tracing processing, which enables high-definition 3D rendering but takes a long time to execute, are becoming more and more popular. This hardware performs the “ray collision detection” required for the ray tracing method used in ray tracing processing at high speed, and the ray tracing method is also an important computation in the field of computational science. In this study, we investigated how to utilize this dedicated hardware in computational science applications. As an actual example, we used it to calculate the propagation loss of radio waves and confirmed that high performance could be obtained.

研究分野：高性能計算

キーワード：GPUコンピューティング 高性能計算 計算科学 レイトレーシング 電波伝搬計算

1. 研究開始当初の背景

高い演算性能やメモリ転送性能を有する Graphics Processing Unit (GPU)は、計算機シミュレーションやデータ科学 (AI・機械学習)に必要な処理を加速するアクセラレータとして PC からパブリッククラウドやスーパーコンピュータまで利用が広がっている。一方、GPU 本来の役割である画像処理 (三次元画像描画)の機能について目を向けると、写実的な CG 描画に有用であるが時間のかかるレイトレーシング処理 (レイトレース法)を加速するための専用ハードウェア (レイトレーシング処理加速機構)を備えた GPU (以下 R-GPU)の普及が始まっている。レイトレーシング処理は CG 描画の技術としてよく知られているが、その主要な処理であるレイ (光)と物体との衝突判定には時間がかかるため、リアルタイム描画処理への活用は実用的ではなかった。R-GPU が搭載しているレイトレーシング処理加速機構は主にこの衝突判定をハードウェア機構により加速するものであり、主にレイトレーシングを用いた高品質な映像表現を伴う 3D ゲームへの利用が想定されている。一方、レイトレース法の高速度は画像描画に限らず様々な計算法にとっても有用である。しかし異分野 (画像処理分野とは異なる分野)のプログラムから容易に活用できるようなプログラミングインターフェイスが用意されていないこともあり、R-GPU の計算科学アプリケーションへの活用は進んでいない。

2. 研究の目的

本研究は、R-GPU の計算科学分野での活用を目指すものである。計算科学分野における R-GPU の活用に向けた検討・試作・評価を行い、その適性や問題点を明らかにするとともに、R-GPU に適したプログラミング手法の検討を行う。本研究が先導事例となることで、R-GPU を活用した計算科学アプリケーションの高速化の可能性や利用環境の整備の重要性を示し、高性能計算および計算科学分野への R-GPU の普及に向けた道筋を示す。

3. 研究の方法

本研究では画像処理のために用意されたハードウェアを、それとは異なる計算科学分野の処理に利用する。本来とは異なる利用法であるため、そもそもうまく利用できるのかという点に最初の課題がある。そのため、まずは R-GPU を利用するための画像処理フレームワークを用いてプログラムの試作を行い、従来の方法で作成した計算科学アプリケーションと同等の処理を行うプログラムが作成できることを確認することが一つの目標となる。これを達成した後は、計算科学と高性能計算の知識や経験を活用して R-GPU を用いた計算科学プログラムの性能分析や高速化を行うとともに、これらの分野のプログラムから R-GPU を容易に利用できるようにする方法 (使い方、プログラミングインターフェイスなど)についても検討を行う。

4. 研究成果

本研究ではレイトレーシング処理が有効に活用できる対象問題として主に電波の伝搬損失計算に着目し、R-GPU を用いた実装・高速化・性能評価に取り組んだ。また、その他のアプリケーションへの適用に向けた検討も行った。

特に電波の伝搬損失計算については、進捗にあわせて国内の研究会報告[1]や国際会議のポスター発表[2]、査読付き国際会議 (IEEE PDSEC 2023) [3]などで発表した。特に[3]は Best Paper Award を受賞した。以下に論文[3]の内容の概要を示す。

電波の伝搬損失計算は携帯端末の基地局アンテナの設置場所の検討などの際に用いられる計算であり、アンテナ (送信者) から発せられる電波の伝わり方 (電波の伝搬) をシミュレーションするものである。電波が受信者に届くまでには途中に存在する障害物により反射・透過・回折が発生し、減衰したり不達となったりする。この計算 (シミュレーション) にはレイトレース法が活用できる (図 1)。精度の高い計算結果を得るには多数のレイを投射する (多くのパターンで計算を行う) 必要があるため長い時間がかかり、レイトレース法の高速度は重要である。



図 1 : CG 描画処理と電波の伝搬計算におけるレイトレーシング処理 (レイトレース法)

本研究では電波の反射処理に対象を限定し、GPU に搭載されたレイトレーシング処理加速機構を用いた電波伝搬計算を実装した。実装には OptiX を用いた。OptiX は NVIDIA 社が開発している API であり、NVIDIA 社の GPU に搭載されたレイトレーシング処理加速用ハードウェアのみしか利用することができないが、レイトレーシング処理加速用ハードウェアを搭載していない NVIDIA 社の GPU でも同様の処理を低速に実行することができる。なお OptiX 以外にも Vulkan や DirectX Raytracing、Intel Advanced Ray Tracing などが開発・公開されており、特に Vulkan は多くの GPU に搭載されたレイトレーシング処理加速装置を利用することができる。そのため論文[3]では資料の充実度や手持ちの GPU の構成を考慮して OptiX を用いたが、その後は Vulkan を用いた実装や評価も行っており、その成果はプロジェクト期間後の研究会等にて発表予定である。

性能評価の一例として、2 つの球体からなるシンプルな問題空間において電波の伝搬損失計算を行った際の実行時間を図 2 に示す。CPU として Intel Core i7-7740 (4 コア 8 スレッド)、GPU として NVIDIA GeForce RTX 3050 を搭載した Ubuntu デスクトップ PC にて実行時間を測定した。横軸の数字はレイの数に対応し、右のグラフほど多くのレイの反射計算を行っている。(20000,10000 は $20000 \times 10000 = 2$ 億レイに対応。)縦軸は実行時間のため、棒グラフが短いほど高速である。実験の結果、比較対象 CPU の世代が古いとはいえ、例えば一番右のグラフでは GPU の実行時間は CPU の実行時間の 0.035 倍 (約 28.5 倍の性能) にまで高速化され、レイトレーシング処理加速機構の有効性が確認できた。

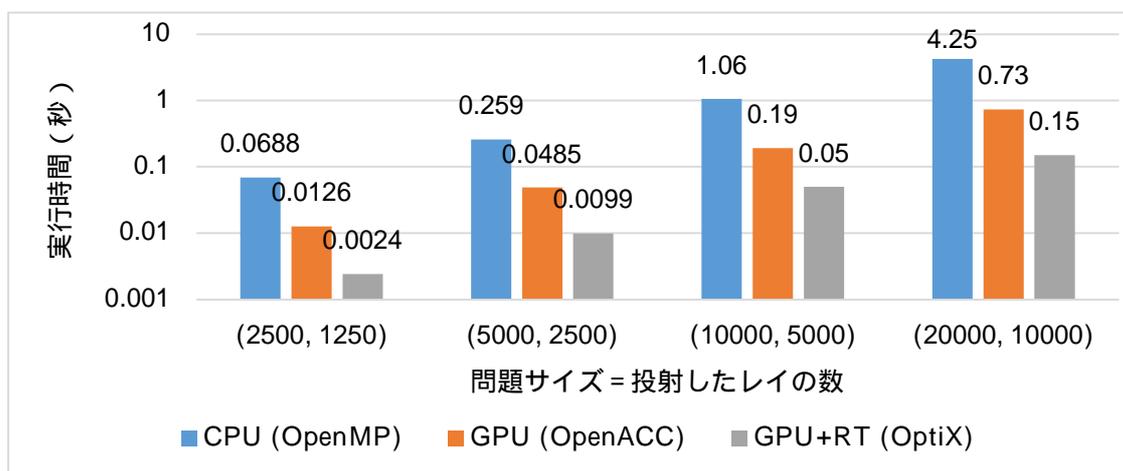


図 2：シンプルな問題設定における実行時間の比較結果

より複雑な問題空間における性能評価の例として、名古屋大学の 3D マップ (国土交通省 PLATEAU プロジェクトにて公開されているオープンデータを切り出したもの、5740 プリミティブ、20000 × 10000 レイ、最大 31 回までの反射) を用いた問題空間において電波の伝搬損失計算を行った際の実行時間を図 3 に示す。本評価では様々な GPU で同じ計算を行った際の実行時間を比較した。横軸は利用した GPU の型番、括弧内の数字は搭載されているレイトレーシング処理を加速するハードウェアユニットの数量を意味している。性能が一部逆転している部分はあるものの (GPU クロック数の差が影響した可能性がある) 全体的にはコア数が多いほど高速に実行できた。なお同様の処理を CPU で実行すると数十秒、CPU によっては百秒以上かかるため、レイトレーシング処理加速機構の効果は非常に大きい。

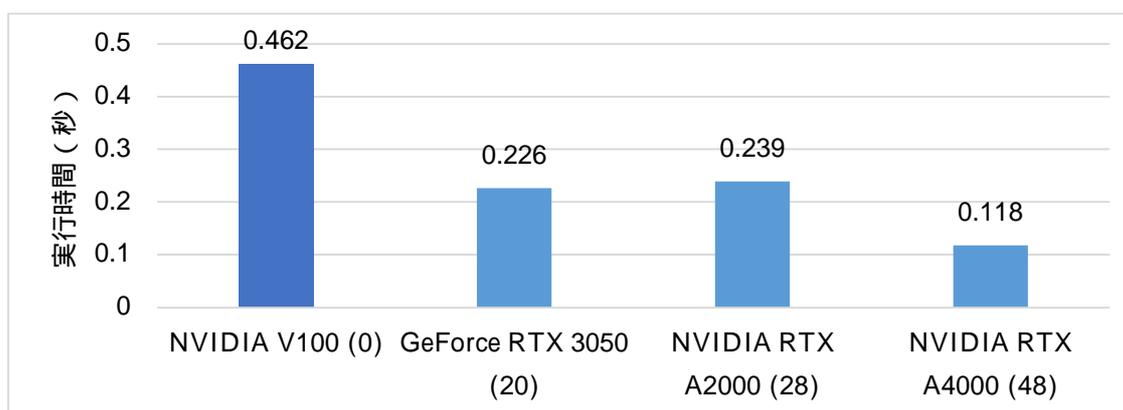


図 3：名古屋大学の 3D マップを用いた実行時間の比較結果

以上のように本研究ではレイトレーシング処理加速機構を備えた GPU を用いて電波の伝搬損失計算を実装し、その性能を評価した。実験の結果、レイトレーシング処理加速機構を用いることで非常に高い性能が得られることが確認できた。レイトレーシング処理加速機構の有無を

問わず GPU を用いて電波の伝搬損失計算を行った先行研究はいくつか存在するものの、本研究では従来研究から実装の改善を行い、また複数の GPU を用いて性能を比べるなどして詳細に性能を分析した。さらに OptiX を用いたプログラムを OpenMP や OpenACC を用いたプログラムと比較することで現在のレイトレーシング処理加速機構を用いたプログラミングの課題（どのような部分が扱いにくい、計算科学アプリケーションに利用する上での難点など）についても言及した。これらにより計算科学分野におけるレイトレーシング処理加速機構（R-GPU）の活用について多くの知見を提供することができた。

参考文献

- [1] 柎木慎也, 大島聡史, 片桐孝洋, 永井亨, " RT コアによる電波の伝搬損失計算の実装とプログラミングモデルの検討", 情報処理学会 研究報告(HPC-185), 2022.07.20, pp.1-12, 2022 年 (国内研究会報告)
- [2] Shinya Hashinoki, Satoshi Ohshima, Takahiro Katagiri, Toru Nagai, "Implementation of Radio wave propagation loss calculation using RT core", HPC Asia 2022, 2022 年 (国際会議ポスター発表)
- [3] Shinya Hashinoki, Satoshi Ohshima, Takahiro Katagiri, Toru Nagai, Tetsuya Hoshino, "Implementation of Radio Wave Propagation using RT Cores and Consideration of Programming Models", The 24th IEEE International Workshop on Parallel and Distributed Scientific and Engineering Computing (PDSEC 2023), 2023 IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium Workshops (IPDPSW), pp.673-681, 2023 年, DOI:10.1109/IPDPSW59300.2023.00115 (査読付き国際会議 Proceedings、Best Paper Award)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Hashinoki Shinya, Ohshima Satoshi, Katagiri Takahiro, Nagai Toru, Hoshino Tetsuya	4. 巻 2023
2. 論文標題 Implementation of Radio Wave Propagation using RT Cores and Consideration of Programming Models	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 2023 IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium Workshops (IPDPSW)	6. 最初と最後の頁 673-681
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/IPDPSW59300.2023.00115	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 杵木慎也, 大島聡史, 片桐孝洋, 永井亨	4. 巻 2022-HPC-185
2. 論文標題 RTコアによる電波の伝搬損失計算の実装とプログラミングモデルの検討	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 研究報告ハイパフォーマンスコンピューティング（HPC）	6. 最初と最後の頁 1-12
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Shinya Hashinoki, Satoshi Ohshima, Takahiro Katagiri, Toru Nagai
2. 発表標題 Implementation of Radio wave propagation loss calculation using RT core
3. 学会等名 HPC Asia 2022（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ji Qi, Kenji Ono
2. 発表標題 Application of GPUs in CFD-based Turbine Wake Simulation
3. 学会等名 HPC Asia 2022（国際学会）
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	小野 謙二 (Ono Kenji) (90334333)	九州大学・情報基盤研究開発センター・教授 (17102)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 協力者	片桐 孝洋 (Katagiri Takahiro) (40345434)	名古屋大学・情報基盤センター・教授 (13901)	
研究 協力者	星野 哲也 (Hoshino Tetsuya) (40775946)	名古屋大学・情報基盤センター・准教授 (13901)	
研究 協力者	永井 亨 (Nagai Toru) (10189095)	名古屋大学・情報基盤センター・助教 (13901)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------