

GPUを用いた高速電磁界シミュレータの開発

正確な数値シミュレーションを行うためには、高価で高性能なコンピュータが今まで必要でした。そこで本研究では、GPUの持つ高い演算能力を利用し、比較的安価に導入可能な高速シミュレータを開発しています。

FDTD法による数値解析

FDTD法（Finite Difference in Time Domain method）は、電磁波の振る舞いを表すマクスウェルの方程式を有限差分近似によって解く方法です。解析対象のモデル化が容易なため、光学シミュレーションやアンテナ設計、EMC（Electro-Magnetic Compatibility：電磁環境両立性）解析などの広い分野で用いられています。

FDTD法による解析では、解析領域全体をメッシュ状に分割し、電界や磁界といった物理量を端から順番に計算していきます（図1参照）。メッシュで切られた一つ一つの領域はセルと呼ばれます。得られる結果の誤差は、セルの大きさの2乗に比例して小さくなります。しかし、セルが小さくなれば小さくなるほど、記憶しておくデータ量と計算回数が増加するため、正確なシミュレーションを行うためには大容量のメモリと高速なコンピュータが必要になります。例えば、一辺が170セルの3次元領域を解析する場合、CPU（Central Processing Unit）の性能に依存しますが計算時間はおおよそ数時間から十数時間であり、必要なメモリ量は約4GBになります（ただし、解析対象の媒質によってある程度値は変わります）。

GPUによる並列計算

GPU（Graphics Processing Unit）とは、パソコン内で描画処理を行うハードウェアであり、ディスプレイに映像を出力するために必要なものです。比較的高性能なGPUは、図2に示したようなビデオカードとしてパソコンの拡張スロットに装着されています。近年よく見られ

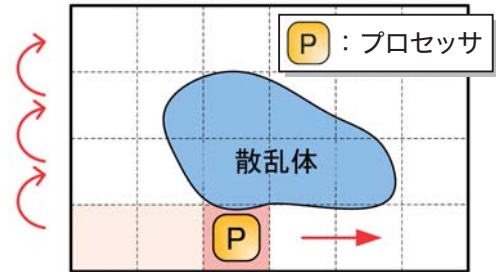


図1 FDTD法における計算過程
解析領域の一端から順番に計算する



図2 GPUを搭載するビデオカードの例
通常は映像出力に用いられる

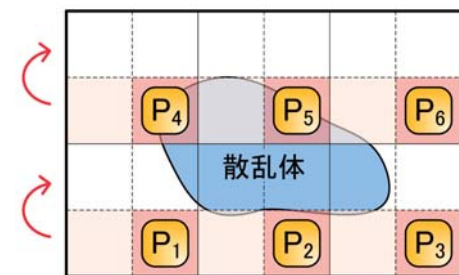


図3 GPUによる並列計算
複数のプロセッサで一気に計算する

る高精細な映像やコンピュータグラフィクスは、GPUの持つ非常に高い演算能力によって実現されています。

このGPUを、描画目的ではない一般用途（例えば数値シミュレーションなど）に利用することを総称してGPGPU（General Purpose Graphics Processing Unit）と呼びます。最近では、GPGPU用途に特化された映像出力端子を持たない専用ボードも販売されており、非常に注目されている技術です。

GPUの内部には、プロセッサと呼ばれる演算処理を行う装置が多数存在しています。例え

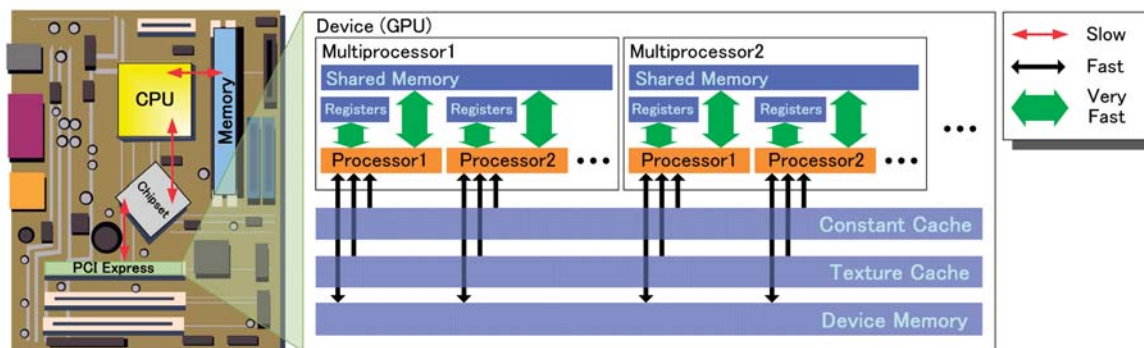


図4 GPU内部構造の一例

PCI Expressの通信速度がボトルネックになる

ば、現行のGPGPU用ボードは240個のプロセッサを持っているものもあり、CPUが持つ2～6個程度と比較しても非常に大きな数であることが分かります。プロセッサ単体の性能を見るとGPUはCPUより劣りますが、複数の単純な処理に分割し並列に実行することで、全体的な計算速度の向上が期待できます。

GPUによるFDTD解析の高速化

FDTD解析における並列計算のイメージを図3に示します。図1では解析領域の端から順番に計算しているのに対し、GPUによる計算では解析領域全体を複数のプロセッサで一気に求めます。

各プロセッサが受け持つ解析領域間にデータの依存性が無く、完全に独立して計算可能であれば高速化は容易です。しかし、通常のFDTD法のアルゴリズムでは、隣り合った領域が境界付近のデータを共有するため、データの転送が必要になります。解析速度を最大限に高めるためには、このデータ転送によるタイムロスができる限り小さくすることが重要です。

図4は、マザーボードとGPUアーキテクチャの一例を簡易的に示したものです¹⁾。複数のプロセッサが集まって1つのマルチプロセッサを構成し、さらに複数のマルチプロセッサが集まって1つのGPUを構成しています。GPU上のメモリには、複数のマルチプロセッサが共有するデバイスメモリや、マルチプロセッサ内のプロセッサのみがアクセスできるシェアメモリなどがあります。図4内の各矢印はデータの転送速度（スループット）を表しています。GPU内部の転送速度に対し、拡張スロットの

インターフェイスであるPCI Expressの転送速度が遅いことが分かります。したがって、PCI Expressを介した通信回数を減らし、高速なシェアメモリの使用頻度を上げることが、全体的な解析速度を向上するための鍵と言えます。

以上のような、各プロセッサが受け持つ領域の割り当てや効率的なデータ転送といった並列化時の最適化は、現在提供されているコンパイラでは自動的に行われません。著者らは、アルゴリズムやプログラミング手法を検討し、GPUによる演算に最適化されたFDTDシミュレータの開発に取り組んでいます。

今後の展開

当グループでは、今後急速に普及していくことが予想される光配線をはじめとした光通信関連技術に注目しています。光の波長は非常に短いため、解析領域を非常に細かいメッシュで分割する必要があります。本研究の成果は、このような光学シミュレーションに関する研究において役立つことが期待されます。

また、GPGPU技術は、今回ご紹介した光や電波解析のためだけのものではなく、画像処理や動画処理といった信号処理技術分野にも適用可能です。当グループでも、様々な分野への応用を今後検討していきます。

参考文献

- 1) NVIDIA CUDA Programming Guide Version. 2.3.1(2009).

開発本部開発第一部

情報技術グループ <西が丘本部>

山口隆志 TEL 03-3909-2151 内線 495

E-mail: yamaguchi.takashi@iri-tokyo.jp