

GPU による時間領域差分法の並列処理の検討

Examination of parallel processing of the FDTD method with GPUs

○大野政元¹, 市川智章², 内田一也¹, 大貫進一郎³*Masamoto Ohno¹, Tomoaki Ichikawa², Kazuya Uchida¹, Shinichiro Ohnuki³

Abstract: Recently, high-speed computing by parallel processing using GPUs has been reported. In this paper, we investigate electromagnetic simulation by the FDTD method which is accelerated by GPUs and make a comparison of computational time and accuracy between GPU and CPU computing.

1. はじめに

近年並列処理の分野では、GPU (Graphics Processing Unit) による高速計算に注目が集まり、様々な分野において盛んに報告が行われている^{[1][2][3]}。GPU は演算専用の計算コアを多数搭載しているのが特徴で、これらの計算コアを同時に使用し並列処理を行うことが可能である。

本報告では電磁界解析手法の一つとして知られている時間領域差分 (FDTD) 法の GPU による並列処理を検討する。また PC クラスタとの計算速度及び計算精度の比較を行う。

2. 解析法

Figure 1 のように解析空間を z 軸方向に一様と仮定した 2 次元電磁波散乱問題を FDTD 法により解析する。今回は解析領域を $\Delta l \times \Delta l$ の微小正方領域 (セル) に分割し、各セルに対して電界と磁界を割り当てる。ここでは、マクスウェルの方程式の空間と時間を中心差分法で差分化する。時刻 n での E_z , H_x および H_y は、プログラム上の表記で表すと次式で与えられる。

$$E_z^n(i, j) = E_z^{n-1}(i, j) + \frac{\Delta t}{\epsilon \Delta l} \{ H_y^n(i, j) - H_y^n(i-1, j) - H_x^n(i, j) + H_x^n(i, j-1) \} \quad (1)$$

$$H_x^n(i, j) = H_x^{n-1}(i, j) - \frac{\Delta t}{\mu \Delta l} \{ E_z^n(i, j+1) - E_z^n(i, j) \} \quad (2)$$

$$H_y^n(i, j) = H_y^{n-1}(i, j) - \frac{\Delta t}{\mu \Delta l} \{ E_z^n(i, j) - E_z^n(i+1, j) \} \quad (3)$$

このように電界と磁界を交互に求めることで電磁界の時間応答を得られる。式(1)により、Figure 1 の任意のセル $A(i_1, j_1)$ の電界を求める場合に必要な値は $A(i_1, j_1)$, $a_1(i_1, j_1-1)$, $a_2(i_1-1, j_1)$ の要素のみである。同様にセル $B(i_2, j_2)$ を求めるには $B(i_2, j_2)$, $b_1(i_2, j_2-1)$, $b_2(i_2-1, j_2)$ のみを用いる。セル A , B は互いの計算に干渉しないため、個別に処理を行うことが出来る。そのため多数の計算コアを持つ GPU では、各コアに処理を割り振ることで、演算の高速化が可能となる。

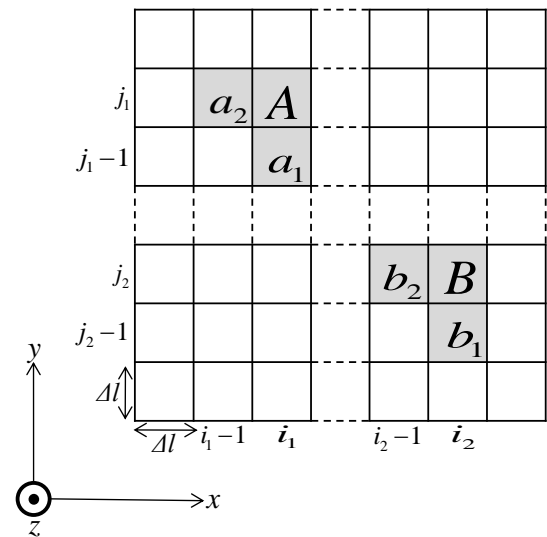


Figure 1. Discretization of the field

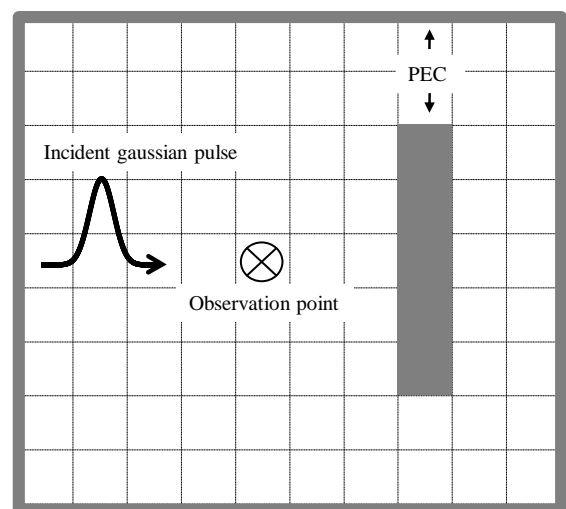


Figure 2. Computational model.

3. 数値結果

本報告では、Figure 2 に示すような完全導体 (PEC) で囲まれた 2 次元の真空中に完全導体平板を配置し、ガウシアンパルスを入射した場合の電磁波散乱問題を解析する。ここで、観測点はパルスの励振点と散乱体の中央に設定する。

Figure 3 に電界の時間応答を示す。CPU と GPU の計算結果が図上で一致していることが分かる。また Figure 4 に両者の相対誤差を示す。全ての時間ステップにおいて 10^{-7} 程度となり、丸め誤差の範囲で一致している。

Figure 5 に解析領域のサイズを変化させた場合における計算時間の比較を示す。GPU と PC を 1 台を利用した場合を比較すると最大 38 倍、GPU とクラスタリングした PC を 8 台利用した場合でも最大 8 倍の計算時間の短縮が実現できた。この結果から、FDTD 法の解析において GPU を利用することで計算の高速化が可能となることがわかる。

4. まとめ

本報告では、FDTD 法の 2 次元電磁波散乱解析において GPU を用いた並列処理を検討した。GPU を用いることで、PC の計算よりも高速化する事が可能となり、PC を 1 台とした場合は最大 38 倍、クラスタリングした PC を 8 台とした場合でも最大 8 倍の高速化が可能となり、GPU を用いた FDTD 法の並列計算に対する有用性を明らかにした。

参考文献

- [1]濱田剛, 横田理央, 似鳥啓吾, 成見哲, 泰岡顕治, 泰治真弘人, 小栗清, 「天体物理と乱流解析のためのGPUクラスタ上で42Tflopsの性能を持つ階層化N体シミュレーションプログラム」, Supercomputing 2009, Sept, 2009.
- [2]高田直樹, 下馬場朋禄, 増田信之, 伊藤智義, 「GPUによる共有メモリを効率的に用いたFDTD法差分計算の高速化」, 情報科学技術フォーラム(FIT2009), Sept. 2009.
- [3]市川智章, 大貫進一郎, 電気学会全国大会, 1-013, p21, 2010.
- [4] 青木尊之, 額田彰, 「はじめての CUDA プログラミング」, 工学社, 2009 年.
- [5] 宇野亨, 「FDTD 法による電磁界およびアンテナ解析」, コロナ社, 1998 年

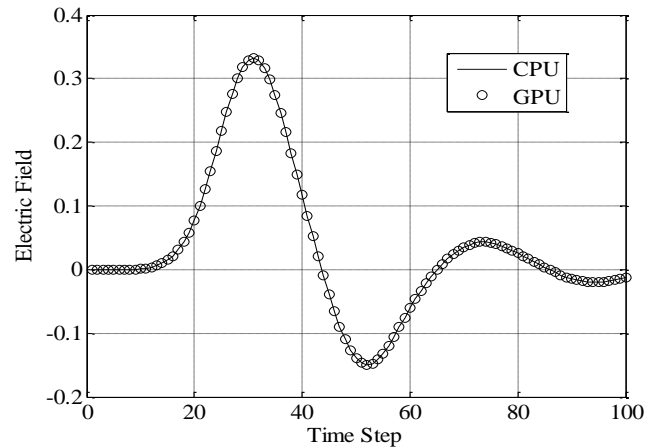


Figure 3. Time domain response.

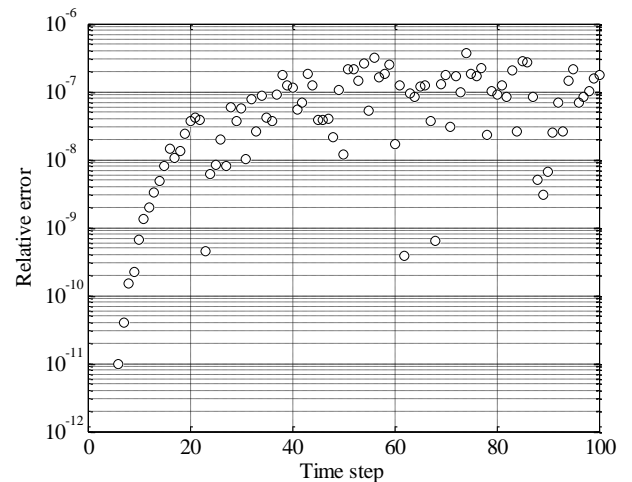


Figure 4. Relative error between GPU and CPU computing.

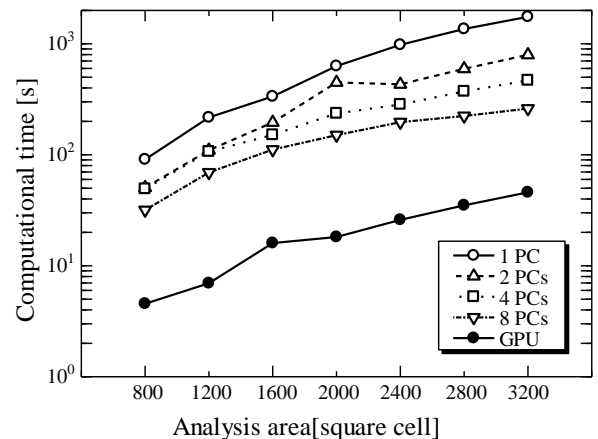


Figure 5. Computational time.