L-17

マルチスレッド化による FDTD 法の計算時間
Computational Time of the FDTD Method Using Multi-Thread Process

○安川悟[1]，関口洋平[2]，竹内嵩[2]，大貫進一郎[3]
*Satoru Yasukawa[1], Yohei Sekiguchi[2], Takashi Takeuchi[2], Shinichiro Ohnuki[3]

Abstract: The Finite-Difference Time-Domain (FDTD) method is one of the most popular algorithms to analyze electromagnetic fields in time domain. However, enormous computational time is required to solve large-scale problems. In this paper, we perform multi-thread simulation to reduce the computational time.

１．はじめに

FDTD 法は，電磁界解析において広く利用される手法である[1,2]．しかし，大規模問題に対して膨大な計算時間が必要となるため，計算時間の短縮が大きな課題となっている．

本報告は，マルチスレッド化による FDTD 法の計算時間短縮について検討を行う．

２．解析手法

FDTD 法は，次式に示す Maxwell 方程式を時間的及び空間的に差分化し，解析する手法である．

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}, \tag{1}$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} + \mathbf{J} \cdot \tag{2}$$

本文では解析空間を真空とし，$\mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{H}$, $\mathbf{D} = \varepsilon_0 \mathbf{E}$を用いて定式化を行う．FDTD法で，無限空間を取り扱う場合は，吸収境界を考慮する必要がある．ここでは以下に述べるMurの1次吸収境界を用いる．

Figure 1のように平面波が垂直に入射する場合を考える．

$-x$方向の進行波は，

$$E_z = E_z(x + ct) \tag{3}$$

と表され，以下の微分方程式を満足する．

$$\frac{\partial E_z}{\partial x} - \frac{1}{c}\frac{\partial E_z}{\partial t} = 0 \tag{4}$$

式(4)を時間的及び空間的に差分化すると，吸収境界での式は

$$E_z^n(1) = E_z^{n-1}(2) + C_1\left\{E_z^n(2) - E_z^{n-1}(1)\right\} \tag{5}$$

$$C_1 = \frac{c\Delta t - \Delta x}{c\Delta t + \Delta x} \tag{6}$$

となる．但し，cは光速，Δtはタイムステップ，Δxはセルサイズを表す．

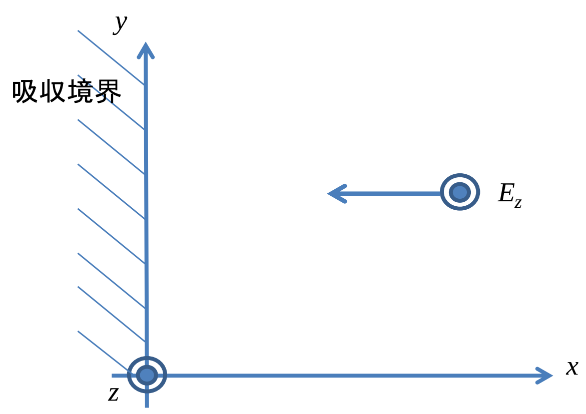

Figure 1. Geometry and coordinate system.

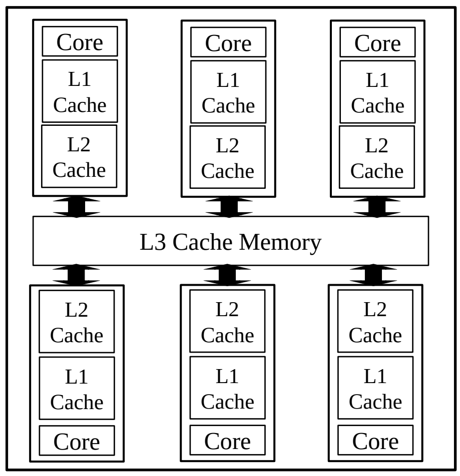

Figure 2. CPU architecture.

今回実施した数値実験では，CPUにIntel Core i7-990X Extreme Editionを使用した．このCPUは，Figure2に示すように6基のコアを持ち，12スレッドで同時実行可能である．また，コンパイラにはIntel Visual Fortran Compilerを使用した．マルチスレッドによる計算時間短縮は，OpenMPを用いてスレッドを複数生成することで処理を分担させ，並列計算を行う事で実現する．

1：日本大学・学部　電気　2：日大理工・院　電気　3：日大理工・教員　電気

3．解析結果

2 次元の電磁波伝搬問題を FDTD 法により解析する．解析空間の分割数は N とした．

Figure 4 に，スレッド数 1 の場合とスレッド数 12 の場合における吸収境界の反射量を示す．反射量が 0 [dB］となる t = 0.61×10^{-10} [s]で，観測点に入射波が到達する．吸収境界での反射波が観測点に到達するのは 1.25×10^{-10}[s] 付近で，反射量は-30 [dB]となる．吸収境界の反射量は t ≧ 2.50×10^{-10} [s]で-45 [dB]となることがわかり，スレッド数 1 とスレッド数 12 の結果は図上でよく一致している．

Table 1 は t = 4.0×10^{-10} [s]付近での反射量の値を示す．この結果よりスレッド数を変化させた場合においても，同等の計算精度が保たれることを確認できる．

Figure 5 に解析空間の分割数 N に対するスレッド数 1 の場合とスレッド数 12 の場合の計算時間の差を示す．計算時間の差は

$$T = T_1 - T_{12} \tag{7}$$

により求める．但し，T_1 はスレッド数 1 の計算時間，T_{12} はスレッド数 12 の計算時間を表す．

分割数が小さい場合，T の変化は小さいが，分割数を大きくすることにより計算時間の差が顕著に現れることがわかる．分割数 N=30000 の場合において 700 秒程度の時間短縮を確認した．

4．まとめ

本報告では，マルチスレッドを用いた，FDTD 法の計算時間短縮について検討を行った．その結果，スレッド数に関わらず，計算精度が保たれている事を確認した．また，解析空間の分割数が多くなるにつれ，マルチスレッドを用いた事による計算時間短縮の効果が，現れている事を確認した．

5．参考文献

[1] 宇野 亨，FDTD 法による電磁界及びアンテナ解析，コロナ社，1998.

[2] 新井　宏之，　新アンテナ工学，総合電子出版社，1996.

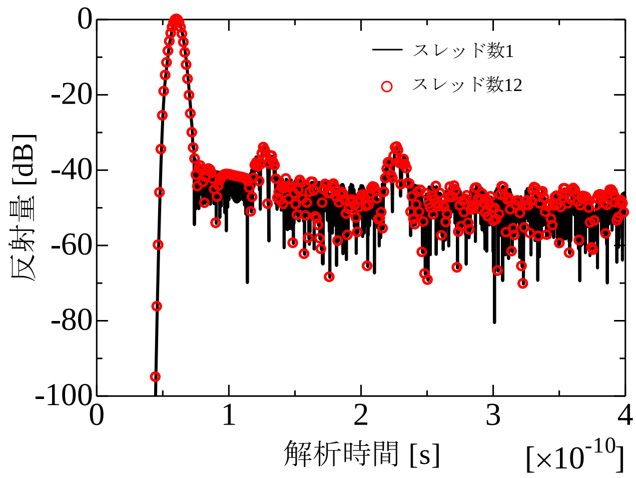

Figure 4. Return loss by the Mur’s absorbing boundary condition.

Table 1. Numerical results for the return loss.

ステップ数 (Δt = 2.12×10^{-13} [s])	反射減衰量	
	スレッド数 1	スレッド数 12
1991	-46.017691	-46.017691
1992	-58.250476	-58.250476
1993	-45.984530	-45.984530
1994	-48.029238	-48.029238

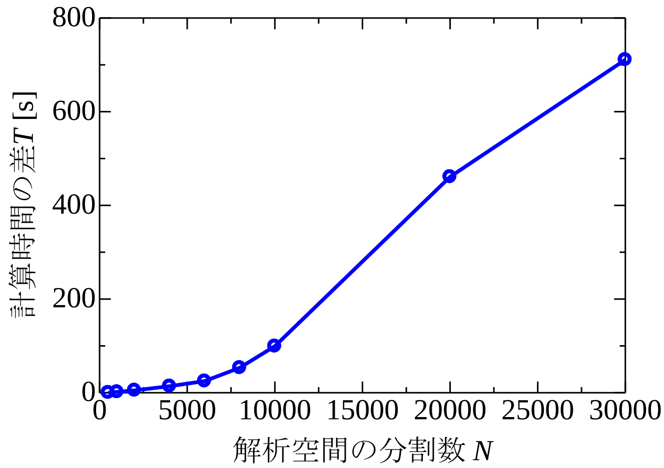

Figure 5. Difference of computational time for varying the number of discretization N.