

マルチ GPU 計算による 3次元音響数値シミュレーションの高速化

On Decreasing the Calculation Time in Three-Dimensional
Acoustic Numerical Simulation by Multi-GPU Parallel Computing

河田直樹¹⁾, 大久保寛²⁾, 土屋隆生³⁾

Naoki KAWADA and Kan OHKUBO and Takao TSUCHIYA

¹⁾首都大学大学院システムデザイン研究科博士前期課程 1 年 (〒 191-0065 東京都日野市旭が丘 6-6, kawada-naoki@sd.tmu.ac.jp)

²⁾首都大学大学院システムデザイン研究科 准教授 (〒 191-0065 東京都日野市旭が丘 6-6, kanne@sd.tmu.ac.jp)

³⁾同志社大学理工学部 教授 (〒 612-0321 京都府京田辺市多々羅都谷 1-3, ttsuchiy@mail.doshisha.ac.jp)

Numerical analysis for sound wave propagation in time domain has been investigated widely as a result of computer development. The finite difference time domain (FDTD) method is the most popular scheme used in acoustics. In the past study, the authors have proposed an acoustic simulation technique using generalized constrained interpolation profile method (GCIP method). When we analyze large-scale sound wave propagation, the reduction of the calculation time is a necessary requirement. Recently, GPU (Graphic Processing Unit) is used as an acceleration tool for the calculation in various study fields. This study makes an examination on decreasing the calculation time in three-dimensional acoustic field numerical analysis using GPU.

Key Words : *Three-Dimensional Acoustic Numerical Simulation, GPGPU, GCIP method, FDTD method*

1. はじめに

計算機環境の向上とともに、音波伝搬の時間領域数値シミュレーションの研究・開発・実用が進んでいる。時間領域手法としては、Staggered grid を用いる FDTD 法 [1] が広く利用されている。また、著者らはこれまで特性曲線法の 1 つである CIP 法 [2] を用いた音響数値シミュレーションの研究を進め、いくつかの報告を行っている [3]。また、CIP 法を一般化し、generalized CIP 法 (GCIP(l, m) 法) を提案した [4]。

一方、計算の高速化という点では、従来スーパーコンピュータやクラスタなどの大型の計算機が利用されているが、最近では GPU(Graphics Processing Unit) を用いて汎用的な数値計算を行おうとする GPGPU(General Purpose computing on GPUs) が様々な分野で注目されている [5][6]。

本研究では、マルチ GPU を搭載した計算機を用いた高速並列計算による 3 次元音響数値シミュレーションを行い、その結果を報告する。

2. FDTD 法と GCIP 法

FDTD 法は Staggered grid を用いて支配方程式を直接差分化する手法である。本手法において音圧と粒子

速度は $1/2$ グリッド離れた点に配置される。本稿では、もともと基本的な解法である時間・空間 2 次精度の中心差分近似によって解く手法 [1] を用いている。

GCIP(l, m) 法は音圧・粒子速度という物理量とともに、それらの空間微分値を同時に用いることで計算を行う手法である [3]。 l は補間関数の次数を示し、 $m+1$ は利用するモーメントの数を示す。FDTD 法とは異なり、Collocated grid を用いており、音圧と粒子速度及びその空間微分値は同一グリッド上に配置される。

いずれの手法も時間領域で解く手法であり、各グリッド上の値はそれぞれ独立して求めることができるため並列化可能である。

3. CUDA による GPU プログラミング

近年、GPGPU 向けのプログラミング言語として CUDA(Compute Unined Device Architecture) などの C 言語に近い言語が開発されたことにより、C 言語の知識だけで比較的手軽にプログラミング可能となった [7]。

並列化には OpenMP を使用し、CPU 側の 1 つのスレッドに 1 つの GPU を受け持たせることでマルチ GPU に対し並列化を行う。

4. 計算結果

以下では3次元音場領域のFDTD法とGCIP法について計算を行い、計算時間の比較を行う。以下、断りのない場合は単精度浮動小数点型の変数を用いて計算を行っている。比較のためのCPUの計算環境はCPU: Intel Core i7 920 2.67GHzを用いて実行する。Core i7は4コアを有し、Hyper-Threading Technologyを実装しており、最大で8スレッドの並列処理が可能である。本稿のCPUの計算は全てOpenMPを用いた8スレッド並列化を行っている。本計算では領域は立方体の領域として、吸収境界条件は除いた領域のみで評価を行っている。また、性能評価の指標としてFLOPS(Floating point number Operations Per Second)とFUPS(Fields Update Per Second)を用いる。FLOPSは1秒間に浮動小数点演算が何回行われたか、FUPSは1秒間に何点の領域が更新されたかを表す。

初めに、単一GPUを用いた場合の計算時間を示す。GPUはGeForce GTX 285を使用した。表1に計算領域のグリッド数を $256 \times 256 \times 256$ 、計算回数を1024と固定した時のFDTD解析の計算時間を示す。同表より、8スレッドのCPUの約14.5倍の高速化が実現出来ている。

表2, 3に計算領域のグリッド数を $128 \times 128 \times 128$ 、計算回数を1024と固定した時のGCIP解析の計算時間を示す。同表より、GCIP(3,1)法は8スレッドのCPUの約25倍、GCIP(7,1)法は約41.5倍の高速化が実現出来ている。

最後に、Yee-FDTD法をマルチGPUを用いて並列化した場合の計算時間を示す。GPUはGeForce GTX 295を使用した。表4に計算領域のグリッド数を $256 \times 256 \times 256$ 、計算回数を1024と固定した時の計算時間を示す。同表より、最も計算時間が少ないのは、8個のGPU(GTX 295)を並列化した結果であり、Yee-FDTD法では8スレッドのCPUの約42.6倍の高速化が実現できている。

5. まとめ

本研究では、単一・マルチGPU並列計算による時間領域の3次元音響数値シミュレーションを行い高速化の検討を行った。その結果、FDTD法では8個のGPUを用いることでCPUに比べて数十倍以上の高速化が出来ることが分かった。また、GPUを用いるとYee-FDTD法に比べてGCIP法の計算時間が大幅に減少することが分かり、GCIP法のGPU実装の有効性が明らかになった。今後は、手法に特化した有効なスレッドモデルをさらに検討し、効率化をはかる予定である。

表-1 Yee-FDTD法の計算時間(単一GPU)

計算環境	計算時間 [s]	GFLOPS	GFUPS
8スレッド i7	115.22	2.684	0.149
GTX 285	7.97	38.776	2.154

表-2 GCIP(3,1)法の計算時間

計算環境	計算時間 [s]	GFLOPS	GFUPS
8スレッド i7	415.26	2.399	0.005
GTX 285	16.45	60.555	0.130

表-3 GCIP(7,1)法の計算時間

計算環境	計算時間 [s]	GFLOPS	GFUPS
8スレッド i7	689.01	2.843	0.003
GTX 285	16.57	118.189	0.130

表-4 Yee-FDTD法の計算時間(マルチGPU)

計算環境	計算時間 [s]	GFLOPS	GFUPS
8スレッド i7	115.22	2.684	0.149
GTX 295 × 1	9.14	33.833	1.880
GTX 295 × 2	5.15	60.046	3.336
GTX 295 × 4	3.38	91.490	5.083
GTX 295 × 8	2.70	114.533	6.363

参考文献

- 1) K.S. Yee, IEEE Trans. Antennas Propag., vol.AP-14, no.4, pp.302-307, May 1966.
- 2) Takashi Yabe, Feng Xiao, Takayuki Utsumi, Jour. of Comput. Phys. 169, pp.556-593, 2001.
- 3) 大久保寛, 他, 信学信報, EA2006-52, pp.25-30, 2006年9月
- 4) 河田直樹, 他, アコースティックイメージング研究会, AI-2009-21, 2009年11月.
- 5) 河田直樹, 他, 音響学会春季, 2010年3月.
- 6) T. Tsuchiya and H. Sekoguchi, Journal of the Japan Society for Simulation Technology, 27, 4, pp.245-254, 2008.
- 7) http://www.nvidia.co.jp/object/cuda_home_new_jp.html