

MacCormack スキームを用いた吸排気管シミュレーションの OpenMP による並列化

胡濱 良樹, 石崎 大智, 窪田 昌史, 谷川 一哉, 弘中 哲夫

広島市立大学大学院 情報科学研究科

1 はじめに

昨今, 自動車の開発領域においてモデルベース開発 (MBD; Model Based Development) の重要性が増している [1]. MBD の目的は短期間かつ低コストで自動車を開発することである. MBD ではコンピュータによる数値の計算を行い実空間の現象をコンピュータ上で再現するため, 計算時間が問題となる場合がある.

本研究では自動車開発で用いられる, 吸排気管内の物理量の推定を行う「吸排気管シミュレーション」を対象として高速化を図る. 高速化手法として OpenMP による並列化を用いる. OpenMP はマルチスレッドプログラミングを可能にする API であり, OpenMP 指示文を挿入することでプログラムのスレッド化を行う [2].

2 吸排気管シミュレーション

本研究では 1 次元の吸排気管モデルを対象とする. 吸排気管は複数に分割され, 各管はセルと呼ばれる領域に分割されている. 管内の物理量の計算には有限差分法の一つである MacCormack スキーム [3] を使用する. 図 1 にスキームの計算順序を示す. 図 1 より, このスキームは「予測

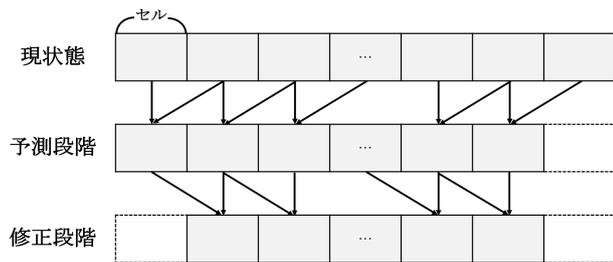


図 1: MacCormack スキームの計算順序

段階」と「修正段階」の 2 段階構成であり, 各セルでは並列計算が可能である. 吸排気管シミュレーションの内, スキーム部にかかる演算時間が多く, 高速化の必要性があるため OpenMP による並列化を行う.

3 OpenMP コードの最適化

吸排気管シミュレーションでは「(3 × 管の本数) 回」のスレッド分岐が発生する. したがって, OpenMP 指示文を挿入したコードに対し, スレッド制御にかかるオーバーヘッド削減のための最適化を行った.

1. MacCormack スキームの呼び出し回数の削減

吸排気管は複数に分割され各管に対してスキームを適用するため, その度にスレッド分岐が発生する. そこで, 分割された管を連結し擬似的に一本の管として見なすことで, シミュレーション 1 回当たりのスレッド分岐回数を「3 回」に削減した.

2. ループ融合

初期化, 予測段階, 修正段階の 3 つのループから成るスキームをループ融合により 1 つにすることで, シミュレーション 1 回当たりのスレッド分岐回数を「1 回」に削減した.

表 1: データセットの一覧

データセット名	管数	セル数	合計セル数
model1	100	3~31	1719
model2	1000	3~31	18674

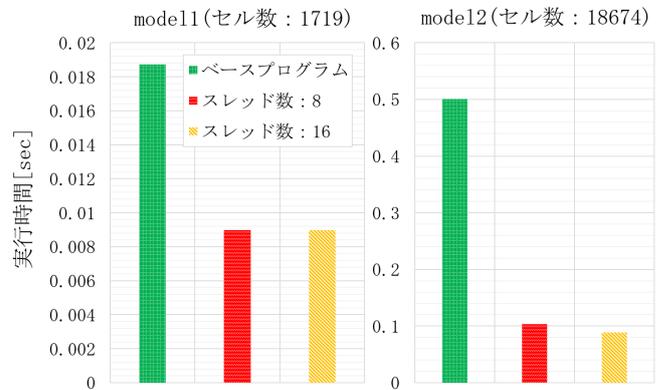


図 2: シミュレーション 1000 回あたりの実行時間

4 評価

本研究では吸排気管シミュレーションを 1000 回反復した際の MacCormack スキーム部にかかる処理時間を評価する. 比較対象として並列化前のベースプログラムの実行時間を使用する. データセットは図 1 に示す 2 種類を使用し, 以下の環境で評価を行う.

- CPU: Intel(R) Xeon(R) E-2670@2.60GHz
- コア数: 8
- 最大スレッド数: 16(ハイパースレッディング時)
- コンパイラ: GCC 4.4.7(最適化オプション: -O3)

図 2 よりスレッド数 16 の時, ベースプログラムに比べて model1 では 2.09 倍, model2 では 5.64 倍高速だった. model1 が model2 と同等の倍率で高速化できなかった要因として, セル数が少ない場合はスレッド制御にかかるオーバーヘッドの割合が大きいためだと推測できる.

5 おわりに

本研究では OpenMP を用いて吸排気管シミュレーションにおける MacCormack スキームの並列化を行った. コードの最適化ではスレッド制御にかかるオーバーヘッドの削減を目的として, 1)MacCormack スキームの呼び出し回数の削減と 2) ループ融合を行った. スレッド数・データセットを変更して評価を行った結果, 最大で 5.64 倍の高速化が達成できた. 今後は MacCormack スキーム部以外の領域を対象とした高速化を検討する.

参考文献

- [1] 窪田昌史, 國光修司, 寺岡陽一, 矢野康英, 北村俊明: 自動車のモデルベース開発におけるシミュレーションの GPGPU における高速化, 情報処理学会研究報告, Vol.2015-HPC-148, No.14, pp.1-6(2015).
- [2] 菅原清文: C/C++プログラマーのための OpenMP 並列化プログラミング, 株式会社カットシステム (2009).
- [3] 藤井孝藏: 流体力学の数値計算法, 財団法人東京大学出版会 (1994).