

Xeon-Phi による MPS 法における近傍粒子探索の高速化

高橋 知克[†] 伊藤 裕一[‡] 丸山 真佐夫[§][†] 木更津工業高等専門学校 制御・情報システム工学専攻[‡] 木更津工業高等専門学校 機械工学科[§] 木更津工業高等専門学校 情報工学科

1. まえがき

MPS 法 (Moving Particle Semi-implicit)^[1] 法は、非圧縮性流体の流れの現象を解析する手法である。流体を粒子群に見たて、粒子同士の相互作用に流体の運動方程式を適用し、その挙動を解析する。より正確な解析には多数の粒子を用いて解析を行う必要があり、その計算負荷は膨大で長い実行時間がかかってしまう。

一方、Xeon Phi コプロセッサはインテルから発売された並列コンピューティング用演算ボードで、メニーコアプロセッサによる並列処理により高い演算性能を発揮する。将来的に多量の計算を必要とする様々な分野で活用されることが予想される。

MPS 法のプログラムの実行時間は近傍粒子探索及びポアソン方程式の解法に多くを割かれている。ポアソン方程式は CG 系の解法で解かれており、一般的な疎行列乗算である。しかし、一方で、近傍粒子探索ルーチンは MPS 法固有の処理である。本研究では、Xeon Phi を用いて、近傍粒子探索ルーチンの高速化を目指し、近傍粒子探索における Xeon Phi の性能を評価した。

2. MPS 法

2.1 概要

流体の運動のシミュレーションに利用される主な解析手法の内、流体の動きを多数粒子の集まりで表現する方法を粒子法という。MPS 法は代表的な粒子法のひとつである。

2.2 近傍粒子探索

MPS 法を用いた流体解析プログラムでは、粒子が近くに存在する粒子に対して相互に干渉しあう。そのた

表 1 実験環境

	CPU (Xeon E5-2680×2)	Xeon Phi 5110P
主記憶	128GB	8GB
クロック周波数	2.7GHz	1.05GHz
コア/スレッド	8×2/16×2	60/240
OS	CentOS 6.4	
コンパイラ	インテル (R) C/C++ コンパイラ バージョン 15.0.3.187	
最適化オプション	-O3	

め、すべての粒子に対して、どの粒子が近傍に位置するのかを各時間ステップごとに把握しておく必要がある。そこで粒子間の距離の計算を行い、近傍粒子を探索するのが近傍粒子探索ルーチンである。

全ての粒子に対して、距離の計算を行う場合、粒子数 N に対して、 $O(N^2)$ の計算量が掛かる。この問題に対しては、シミュレーションを行う空間を格子状のバケットに区切り、予め粒子がどのバケットに属するかを調べておくという手法がよく取られる。これにより、粒子の属するバケットと周囲のバケットのみを比較すれば良くなり、計算量は $O(N)$ まで低下する^[2]。

3. プログラムの実装

3.1 実装環境

本研究にて、プログラムの実装及び実験を行った環境を表 1 に示す。

3.2 並列化

CPU と比べて、Xeon Phi の逐次処理性能は低い。しかし、Xeon Phi は 60 コア、240 スレッドの多くのプロセッサが搭載されている。そのため、プログラムを効率的な並列処理することが重要となる。本研究では、OpenMP を用いて並列化を行った。

3.3 ベクトル演算

ホスト CPU の 256 ビットに対して Xeon Phi は 512 ビットのベクトル演算器が搭載されており、同時に 8 つの倍精度浮動小数点演算が行える。プログラムをベ

Xeon-Phi acceleration of search for neighboring particles in MPS method.

Tomokatsu Takahashi[†] Itoh Yuichi[‡] Maruyama Masao[§][†]Advanced Course of Control and Information, National Institute of Technology, Kisarazu College[‡]Mechanical Engineering, National Institute of Technology, Kisarazu College[§]Information and Computer Engineering, National Institute of Technology, Kisarazu College

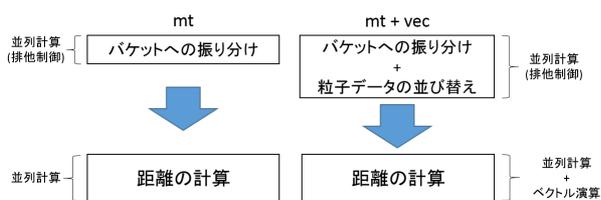


図1 プログラムのフローチャート

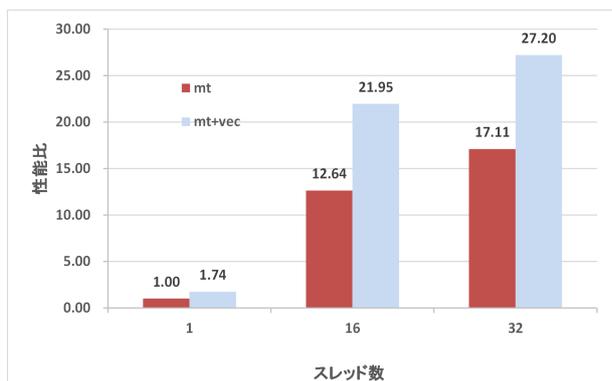


図2 CPUによる並列化計測結果

クトル化することで、更なる高速化が期待される。しかし、ベクトル演算を行うには対象のデータがメモリ上で連続して並んでいる必要がある。

ベクトル化を考えない場合、バケットへの振り分けを行う処理は粒子番号のみ振り分ければよいが、ベクトル化するためには同時にメモリ上に連続で距離データを並べるように操作する必要がある。そのコストを踏まえてもベクトル化するメリットがあるか、次章の実験によって検討した。

4. 評価実験

評価実験は三次元ミルククラウン現象 (粒子数 : 79583/解析時間 : 0 ~ 0.01[秒]/*timestep* : 690[step]) の解析と計測を行っている。図1にフローチャートを示した並列化のみ適用した mt 及び、並列化+ベクトル化を適用した mt+vec プログラムに対して、近傍粒子探索ルーチンの計測実験を行い、比較した。

5. 実験結果

プログラムの並列化時の性能比を図2, 3に示す。両方のプログラムで共に CPU では 32 スレッド, Xeon Phi では 240 スレッドの時、最大の速度を達成した。その時の実実行時間を表2に示す。

図2と図3から、並列化及びベクトル化により、

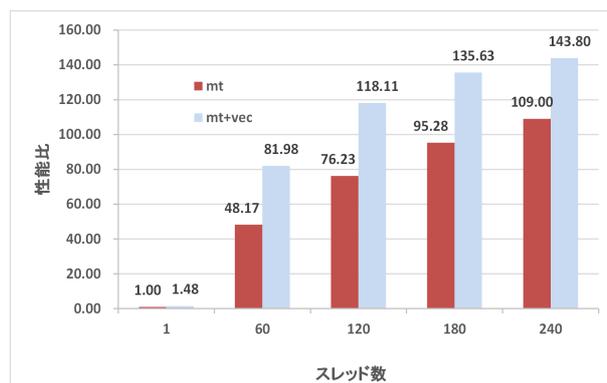


図3 Xeon Phiによる並列化計測結果

表2 実行時間比較

スレッド	実行時間 (秒)			
	CPU		Xeon Phi	
	mt	mt+vec	mt	mt+vec
1	345.60	198.89	4259.80	2869.06
32	20.20	12.70	-	-
240	-	-	39.06	29.61

CPUでは最大27.20倍高速化され、Xeon Phiでは最大143.80倍高速化された。データの並べ替えの処理が増えてもベクトル化したほうが良好な結果が得られた。また、mt+vecの並列化特性は1スレッドでの実行時性能の96倍の性能が出ており、良い結果が得られた。しかし、CPUとXeon Phiの実行時間の比較では、CPU12.70秒に対してXeon Phiは29.61秒と0.43倍となった。

CPU以上の性能を発揮するためには、さらにXeon Phiに特化したチューニングが必要になると考えられる。

6. まとめと今後の課題

近傍粒子探索ルーチンを計測した結果、現状では、Xeon PhiはCPUの0.43倍の性能にとどまった。しかし、大幅に性能が上がった新しいXeon Phiが発売される予定であり、その性能次第ではCPUより高速になる可能性は十分にある。

今後の課題としては、Xeon Phiがその性能を十分に発揮するために、更なる並列化特性の効率化、ベクトル演算の改善等を行っていく。

参考文献

- [1] S.Koshizuka and Y.Oka, "Moving particle semiimplicit method for fragmentation of incompressible fluid," Nuclear Science and Engineering, Vol.123, pp.421-434, 1996.
- [2] 後藤仁志, 林稔, 酒井哲郎, "粒子法による直立護岸前面砕破・越波の数値シミュレーション," 土木学会論文集, 第726号, pp87-98, 2003.