

高い性能可搬性を持つ並列言語 XcalableMP 2.0 の開発 (1)

Development of parallel language XcalableMP 2.0 with high performance portability (1)

中尾昌広

理化学研究所 計算科学研究センター

1. 研究背景と目的

Oakforest-PACS (OFP) や Cygnus のようなメニーコアやアクセラレータを搭載した HPC クラスタが広く用いられている。HPC クラスタにおけるアプリケーション開発では、その HPC システムの構成によって、異なるプログラミング言語が用いられる。例えば、OFP では OpenMP と MPI の組合せが、Cygnus では CUDA と MPI の組合せが用いられることが多い。このため、HPC クラスタ間におけるコードの移植性が問題となっている。さらに、同じ製造会社のプロセッサを用いた HPC クラスタであっても、その世代によってアーキテクチャは大きく変わる場合があるため、ポーティングの際の性能チューニングは必須である。

これらのコードの移植と性能チューニングに要するプログラミングコストを小さくするため、本研究では 1 種類のコードから作成されたバイナリを様々な HPC クラスタにおいて高い性能で実行可能にする並列言語 XcalableMP 2.0 (XMP) およびそのコンパイラを開発を行う。

2. 研究成果の内容

2.1. タスク並列プログラミング

メニーコアの性能を引き出すためのプログラミングモデルの仕様検討を行った。具体的には、分散配列における依存関係に基づく効率的な分散タスク生成を指定可能にする拡張を XMP に対して行った。本拡張は PC クラスタコンソーシアムの並列言語 XMP 規格部会において議論を進めている。本年度は、その拡張のプロトタイプ実装を行い、複雑な依存関係を持つブロックコレスキーベンチマークを用いた検討を行い、本方式による分散タスク生成が実現可能であることを確認できた。

2.2. 複数計算資源の抽象化機能

1 つの計算ノードが持つ複数の計算資源 (アクセラレータなど) を抽象化し、1 つの計算資源として扱えるようにする機能を開発した。さらに、HPC 分野で頻出する計算パターンであるステンシル計算に特化した機能 (分散配列の定義、袖通信など) も開発した。これらの機能を用いることにより、計算資源の数や種類が異なる計算環境においても、同じコードを用いることができる。

2.3. メタプログラミング機能

メタプログラミング機能を既存言語 (Fortran と C) に組み込むことにより, 通常のコパイラでは不可能なアルゴリズムの変更を伴うような性能チューニングを可能にした. 具体的には, ループ・アンローリングおよび構造型のデータレイアウト最適化を簡易に行える機能を開発した. この機能により, コンパイル時評価による性能向上および定形コード抽象化による生産性向上を達成できた.

3. 学際共同利用が果たした役割と意義

我々の研究はメニーコアおよび GPU を搭載した大規模クラスタに対するプログラミング環境の向上を目的としている. そのため, OFP や Cygnus といった世界トップレベルの大規模環境を用いることで, その効果を確認できた. また, XMP のアプリケーション例としてグラフ理論の問題の 1 つである Order/Degree Problem のソルバを開発している. その計算時間は非常に大きい, XMP を用いた並列化を行い, さらに OFP と Cygnus の上で動作することにより, 計算時間の大幅短縮を達成した. それらの計算機がなければ, 国際コンペティション Graph Golf において良い成績を残すことは不可能であった.

4. 今後の展望

XMP のさらなる高性能化を達成するため, オートチューニング機能を追加する予定である. メニーコアやアクセラレータにおけるスレッド数などを, アーキテクチャに応じて最適な数値を自動選択することを考えている. また, 複数の計算資源を用いたステンシル計算においては, 通信と計算のオーバラップの有無や袖幅などの特有のパラメータが存在する. それらのパラメータについても自動選択することを考えている.

5. 成果発表

- (1) 学術論文 : 1 件 (国外・査読あり)
- (2) 学会発表 : 1 件 (国外・査読あり), 10 件 (国内・査読なし)
- (3) その他 : Grid Graph Widest Improvement Award, Grid Graph Deepest Improvement Award in Graph Golf Competition 2019

使用計算機	使用計算機 に○	配分リソース※	
		当初配分	追加配分
Cygnus	○	3,000	
Oakforest-PACS	○	50,000	
※配分リソースについてはノード時間積をご記入ください。			