



メニーコアおよび演算加速機構を持つクラスタシステム向け 並列プログラミング言語の開発と評価

中尾昌広 (理化学研究所 計算科学研究機構), 村井均, 辻美和子, 下坂健則, 原田隆平, 小田嶋哲哉, 田淵晶大, 津金佳祐, Laurence Beaudé, 池井満, 朴泰祐, 佐藤三久

研究背景

分散メモリアプリケーションの多くは MPI を用いて作成されている

- データの送受信を関数を用いて詳細に記述 (MPI_Send/Recv)
 - データ分散やループの並列処理を手動で記述
- 生産性の低さが問題となっている



並列プログラミング言語 XcalableMP

- C と Fortran の並列拡張
 - 指示文を用いることで逐次プログラムから簡易な並列化が可能
 - 片側通信の記法を提供 (Fortran 版 XcalableMP は Coarray Fortran の上位互換)
 - コードの書き換えや教育に要するコストの削減
- MPI および OpenMP, OpenACC との相互運用性
- PC クラスタコンソーシアムの XcalableMP 規格部会が仕様を決定
 - 大学, 研究機関, メーカーの有志で構成

仕様と実装

- XcalableMP 仕様書 version 1.2
 - OpenMP 指示文と XcalableMP 指示文の混在利用の動作を定義
 - 組み込み関数を導入 (分散配列の転置など)
 - <http://xcalablemp.org>
- Omni Compiler version 0.8
 - 筑波大学 計算科学研究センターと理化学研究所 計算科学研究機構が開発
 - <http://omni-compiler.org>
 - オープンソース・ソフトウェア
 - XcalableMP, OpenACC, OpenMP 指示文を含むコードをコンパイル可能
 - プロファイリングツール Scalasca, tlog をサポート
 - Linux クラスタ, Cray マシン, 京, Fujitsu FX10, HITACHI SR16000 など動作
 - 京への最適化: 高速 RDMA インターコネクトを利用
 - NEC SX, Blue Gene/Q などにも移植中

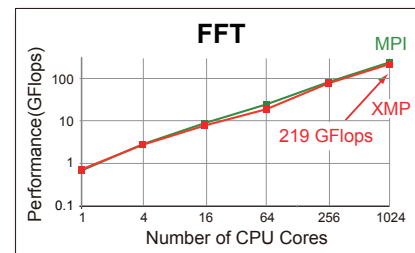
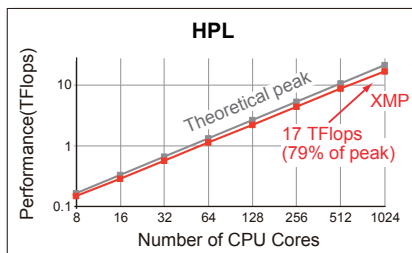
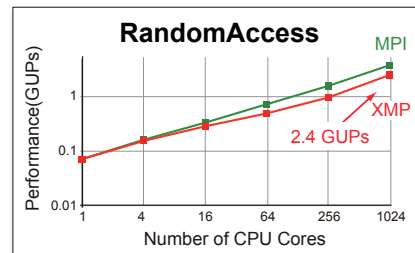
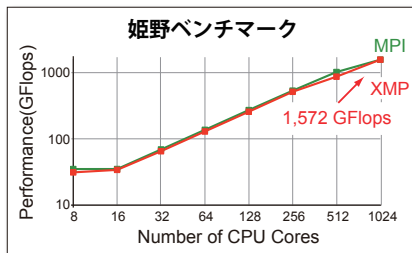
XcalableMP

生産性評価

- 各ベンチマーク実装に対する行数の比較
- XcalableMP の方が少ない行数で記述可能
- 姫野ベンチマークのプログラム例 (Fortran 版 XcalableMP)
 - 近傍の値を用いて自身の値を更新するアプリケーション
 - 逐次コードに指示文を追加するのみで並列化が可能

	Laplace Solver	姫野ベンチマーク	NAS Parallel Benchmarks			HPC Challenge Benchmarks			
			Embarrassingly Parallel	Integer Sort	Conjugate Gradient	HPL	RandomAccess	FFT (only kernel)	STREAM
XcalableMP	45	137	141	704	567	306	250	70	66
MPI	158	380	187	711	1,129	8,800	938	101	329

性能評価 on HA-PACS/Base



```

!$xmp nodes n(2,2)
!$xmp template t(mimax,mjmax,mkmax)
!$xmp distribute t(*,block,block) onto n
!$xmp align (*,j,k) with t(*,j,k) :: p
!$xmp shadow p(0,1,1)
:
!$xmp reflect (p)
!$xmp loop (J,K) on t(*,J,K)
do K = 2, kmax-1
  do J = 2, jmax-1
    do I = 2, imax-1
      S0 = a(I,J,K,1) * p(I+1,J,K) + ...
      SS = (S0*a(I,J,K,4)-p(I,J,K)) * ...
      GOSA = GOSA + SS * SS
    :
  enddo
enddo
!$xmp reduction (+:GOSA)
    
```

分散配列の定義

袖領域の定義

袖領域の交換

ループ文の並列化

集約演算

XcalableACC

概要

- XcalableACC = XcalableMP + OpenACC + α
- OpenACC は アクセラレータを扱うための指示文の規格
- 逐次コードに対して, XcalableMP 指示文と OpenACC 指示文を挿入することで, アクセラレータクラスタ用のアプリケーションを簡易に作成可能にする
- α は XcalableMP 指示文の拡張など (例: アクセラレータ間のデータ転送を記述)

姫野ベンチマークのプログラム例 (C 版 XcalableACC)

```

#pragma xmp nodes n(2,2)
#pragma xmp template t(0:MKMAX-1, 0:MJMAX-1, 0:MIMAX-1)
#pragma xmp distribute t(*, block, block) onto n
#pragma xmp align p[k][j][i] with t(i, j, k)
#pragma xmp shadow p[1][1][0]
...
#pragma acc data copy (p, ...)
{
  ...
}
#pragma xmp reflect (p) acc
#pragma xmp loop (k,j,i) on t(k,j,i)
#pragma acc parallel loop collapse(3) ..
for(i=1; i<MIMAX; ++i)
for(j=1; j<MJMAX; ++j){
for(k=1; k<MKMAX; ++k){
  S0 = p[i+1][j][k] * ...
    
```

分散配列の定義

袖領域の定義

分散配列をアクセラレータに転送

アクセラレータ上の袖領域の交換

XcalableMP が並列化したループ文を OpenACC 指示文がさらに並列化してアクセラレータで実行

生産性評価

	Total	Directive		Except for directives
		XcalableMP	OpenACC	
XcalableACC	204	22	9	173
MPI + OpenACC	325	-	15	310

性能評価 on HA-PACS/TCA

