

H26年度
スーパーコンピュータの高速化技法入門
演習用資料

2015年 1月21日
大阪大学サイバーメディアセンター
日本電気株式会社

本資料は、東北大学サイバーサイエンスセンターとNECの共同により作成され、大阪大学サイバーメディアセンターの環境で実行確認を行い、修正を加えたものです。
無断転載等は、ご遠慮下さい。

SX-ACEの計算ノード構成

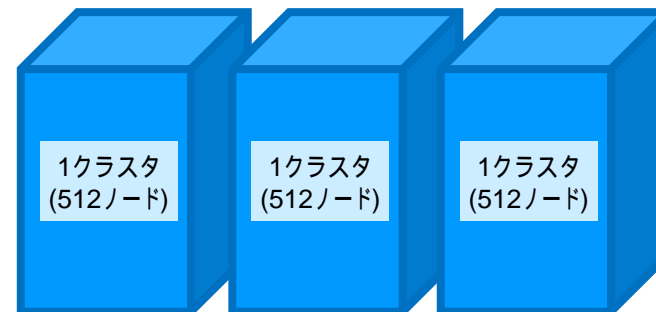
全1536ノード構成

- 1ノードあたり 1CPU(4core)
- メモリ 1ノードあたり64Gバイト(共有)
- ACEキューで最大1024core(256ノード)まで利用可能



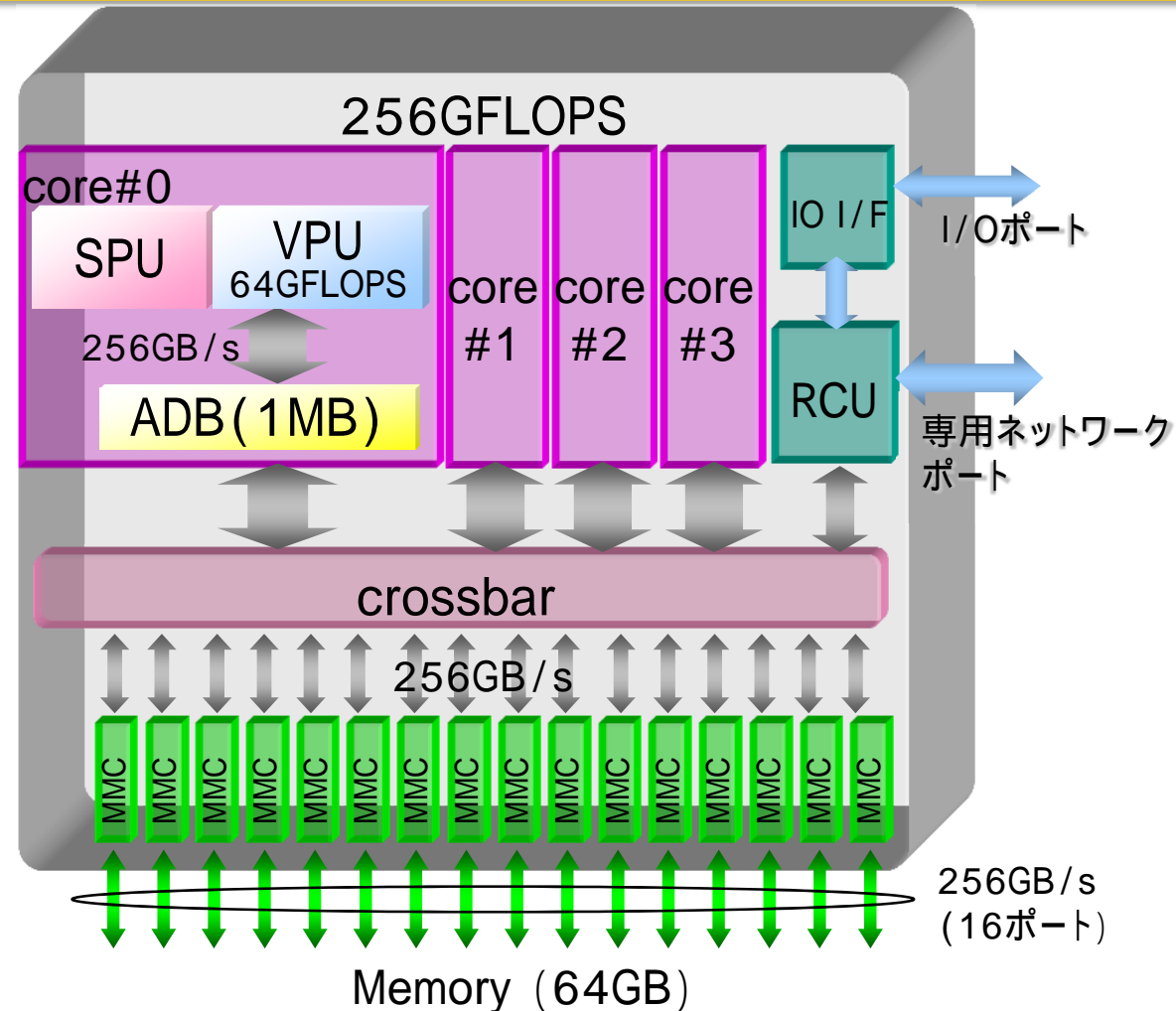
スーパーコンピュータ SX-ACE
全1536ノード

1コア	64ギガFLOPS
1ノードあたり	
ベクトルプロセッサ	4core
共有物理メモリ	64ギガバイト



SX-ACEのCPU構成

- 演算性能 **256GFLOPS** (64GFLOPS/コア × 4コア)
- メモリバンド幅 **256GB/s** (16GB/s /ポート × 16ポート)



SPU: Scalar Processing Unit
VPU: Vector Processing Unit
ADB: Assignable Data Buffer
RCU: Remote Access Control Unit
MMC: Main Memory Controller

行列積のプログラムを使った課題

- オリジナルコードのコンパイルと実行

- 性能解析 (ftraceの利用)

- アンローリング

- outerunroll指示行(指示行による最適化)

- 自動インライン展開(コンパイルオプションによる最適化)

- 行列積ライブラリ(コンパイラによる最適化)

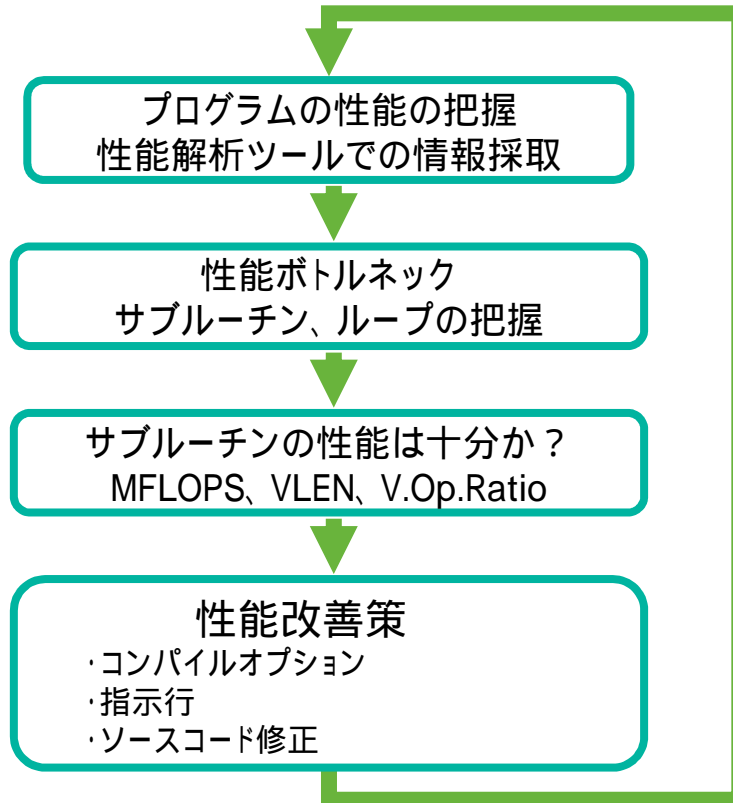
- 自動並列化(コンパイルオプションによる最適化)

演習問題の構成

■ ディレクトリ構成

```
super/  
|- - practice_1   オリジナルコード実行環境  
|- - practice_2   性能解析 (ftrace) 演習問題  
|- - practice_3   outerunroll指示行演習問題  
|- - practice_4   自動インライン展開演習問題  
|- - practice_5   行列積ライブラリ  
|- - practice_6   自動並列化
```

プログラム最適化の流れ



MFLOPS ~ 10 GF
VLEN ~ 100
V.Op.Ratio ~ 98 %
は、改善の余地あり

指示行とは。。。

コンパイラは、最適化を行う上でソースコード上からは判断できない条件があった場合、最適化を抑止します。ユーザーが明示的に指示行で条件を与えてあげるにより、最適化を促進させることが可能になります

1 . 演習問題 : オリジナルコード

目的

- 現状のプログラムの性能を把握する

手順

- コンパイル(リストの確認)
- 実行(結果、性能の確認)

ディレクトリ

- practice_1

1 . オリジナルコード:コンパイル(1)

■ コンパイラオプション

- コンパイラバージョン表示 (-V)
- 編集リスト、変形リストを採取 (-R2)
- 詳細診断メッセージを表示 (-Wf, -pvctl fullmsg)

```
sxf90 -V -Cvopt -R2 -Wf, -pvctl fullmsg mat_tune0.f
```

```
コンパイル方法  
% ./comp.sx.sh
```

1. オリジナルコード: コンパイル(2)

変形リスト(mat_tune0.L)

```
25      do j=1,n
26 !cdir nounroll
27      do k=1,n
28      do i=1,n
. !cdir nodep
. !cdir on_adb(a,b)
.      do i = 1, 2048
29      a(i,j)=a(i,j)+b(i,k)*c(k,j)
30      end do
31      end do
32      end do
```

編集リスト(mat_tune0.L)

```
25: +----->      do j=1,n
26: |             !cdir nounroll
27: |+----->      do k=1,n
28: ||V----->      do i=1,n
29: |||           A      a(i,j)=a(i,j)+b(i,k)*c(k,j)
30: |V-----      end do
31: |+-----      end do
32: +-----      end do
```

V: ベクトル化対象ループ

1. オリジナルコード: 実行

ジョブファイル(run.sx.sh)

```
#!/bin/csh
#PBS -q ACE
#PBS -l cpunum_job=4,elapstim_req=0:10:00,memsz_job=1GB
#PBS -j o -N p1-sx-sample

cd $PBS_O_WORKDIR

timex ./a.out
```

NQS オプション

- q ジョブクラス名を指定
- l 使用CPU数、経過時間、メモリ容量の申告
- j o 標準エラー出力を標準出力と同じファイルへ出力する
- N ジョブ名を指定

実行

```
% qsub run.sx.sh
Request *****.cmc submitted to queue: ACE.
```

*****はジョブ番号

1. オリジナルコード: 実行結果

結果ファイル(p1 - sx - sample.o * * * * *)

約 2.5 GFLOPS

```
***** Program Information *****
Real Time (sec)           :          0.697364
User Time (sec)          :          0.695252
Sys Time (sec)           :          0.000758
Vector Time (sec)        :          0.695070
Inst. Count               :        537299641.
V. Inst. Count            :        167962313.
V. Element Count         :       42998350432.
V. Load Element Count    :       17180000302.
FLOP Count               :       17179869321.
MOPS                     :        62376.933486
MFLOPS                   :       24710.276736
-----
A. V. Length             :        255.999990
V. Op. Ratio (%)         :          99.148358
Memory Size (MB)         :        256.031250
MIPS                     :        772.812794
I-Cache (sec)            :          0.000043
O-Cache (sec)            :          0.000074
Bank Conflict Time
  CPU Port Conf. (sec)   :          0.000051
  Memory Network Conf. (sec) :        0.065552
ADB Hit Element Ratio (%) :          49.990669
```

プログラムインフォ
メーションの出力

2 . 演習問題 : 性能解析 (ftrace の利用)

目的

- 性能解析ツール ftrace を使い、性能情報を採取する

手順

- ソースコードの修正 (ftrace_region の挿入)
- コンパイルオプションの追加 (- ftrace)
- 実行 (結果、性能の確認)

ディレクトリ

- practice_2

2 . 性能解析 (ftraceの利用) : ソースコード修正

mat_tune0.fへftrace_regionを挿入

- プログラムの局所的な部分の性能を知りたい場合に使用する
 - ・ 通常のftraceはサブルーチン単位での情報を表示
ループ単位で細かく情報採取が可能
- call ftrace_region_begin/endで測定したい区間をはさむ

コメントを外す

```
23      t1=etime(cp1)
24  !    call ftrace_region_begin('Main-loop')
25      do j=1,n
26          do k=1,n
27              do i=1,n
28                  a(i,j)=a(i,j)+b(i,k)*c(k,j)
29              enddo
30          enddo
31      enddo
32  !    call ftrace_region_end('Main-loop')
```

2 . 性能解析 (ftraceの利用) : コンパイルオプションの追加

■ -ftraceをcomp.sx.shに追加

```
sxf90 -V -Cvopt -R2 -Wf,-pvctl fullmsg mat_tune0.f -ftrace
```

■ コンパイルオプションの意味

- -ftrace 簡易性能解析機能を利用する

注意

-ftraceオプションは測定オーバーヘッドが生じるため、実行回数の多いサブルーチンがある場合には、実行時間が延びます。そのため、常に使用することはお勧めしません。

2 . 性能解析 (ftraceの利用) : コンパイルと実行

■ コンパイル

- % ./comp.sx.sh

■ 実行

- % qsub run.sx.sh

2 . 性能解析 (ftraceの利用) : 実行結果

結果ファイル(p2 - sx - sample.o * * * * *)

約 4 0 GFLOPS

FTRACE ANALYSIS LIST

Execution Date : Mon Jan 19 17:05:07 2015
Total CPU Time : 0:00'00"925 (0.925 sec.)

ftraceの情報

ftrace_regionの情報

PROC.NAME	FREQUENCY	EXCLUSIVE TIME[sec](%)	AVER.TIME [msec]	MOPS	MFLOPS	V.OP RATIO	AVER. V.LEN	VECTOR TIME	I-CACHE MISS	O-CACHE MISS	BANK CONFLICT CPU PORT	CONFLICT NETWORK	ADB HIT ELEM.%
main_	1	0.925(100.0)	925.337	46866.9	18566.1	99.15	256.0	0.925	0.000	0.000	0.000	0.190	49.99
total	1	0.925(100.0)	925.337	46866.9	18566.1	99.15	256.0	0.925	0.000	0.000	0.000	0.190	49.99
Main-loop	1	0.924(99.9)	923.975	46883.1	18593.4	99.15	256.0	0.924	0.000	0.000	0.000	0.190	49.99

matrix_size = 2048
p_name | user(sec)| moda | check
mat_tune0.f_ | 0.924 | 0 | 0.2048000000000000D+04
18.593 (GFlops)

プログラムの出力

3 . 演習問題 : outerunroll指示行

目的

- アウターアンローリング指示行の使い方を理解する
- 4段アウターアンロールを行う

手順

- ソースコードの修正
- コンパイル(リストの確認)
- 実行(結果、性能の確認)

ディレクトリ

- practice_3

3 . outerunroll指示行: ソースコード修正

mat_tune0.fをmat_tune.fにコピーしてから、mat_tune.fを修正

- % cp mat_tune0.f mat_tune.f
- % vi mat_tune.f

4段outerunroll指示行の挿入例

```
25      do j=1,n
26 !cdir outerunroll=4
27          do k=1,n
28              do i=1,n
29                  a(i,j)=a(i,j)+b(i,k)*c(k,j)
30              enddo
31          enddo
32      enddo
```

段数は2のべき乗の値のみ有効

1 . オリジナルコード:コンパイル(2)

■ 変形リスト(mat_tune0.L)

```
25      do j=1,n
26  !cdir outerunroll=4
27      do k=1,n
28          do i=1,n
29              a(i,j)=a(i,j)+b(i,k)*c(k,j)
30          end do
31      end do
.      do k = 1, 2048, 4
.      !cdir      nodep
.      !cdir      on_adb(a,b)
.          do i = 1, 2048
.              a(i,j) = a(i,j) + b(i,k)*dble(c(k,j)) + b(i,k+1)*dble(c(k+1,
. 1          j)) + b(i,k+2)*dble(c(k+2,j)) + b(i,k+3)*dble(c(k+3,j))
.          enddo
.      enddo
.      end do
32
```

4段アウターアンロールが行われる
配列aのメモリアクセスの回数が
1/4になるため高速化される

3 . outerunroll指示行 : 実行結果

結果ファイル(p3 - sx - sample.o * * * * *) 約 4 0 GFLOPS
オリジナル(演習 1)の 1 . 6 倍の性能向上

```
***** Program Information *****
Real Time (sec)      :      0.429773
User Time (sec)     :      0.428914
Sys Time (sec)      :      0.000737
Vector Time (sec)   :      0.428740
Inst. Count         :      240708305.
V. Inst. Count      :      117679817.
V. Element Count    :      30126031456.
V. Load Element Count :      10741743662.
FLOP Count          :      17179869321.
MOPS                :      70524.767072
MFLOPS              :      40054.344976
-----
A. V. Length        :      255.999986
V. Op. Ratio (%)    :      99.593282
. . .
```

4 . 演習問題 : 自動インライン展開

目的

- 自動インライン展開のオプションの使い方を理解する

手順

- インライン展開前の性能の確認
 - ・ コンパイル(リストの確認)
 - ・ 実行(結果、性能の確認)
- インライン展開後の性能の確認
 - ・ コンパイルスクリプトへオプション追加、再コンパイル(リストの確認)
 - ・ 再実行(結果、性能の確認)

ディレクトリ

- practice_4

4 . 自動インライン展開:インライン展開前のコンパイル

コンパイル

```
sxf90 -V -Cvopt -R2 -Wf,-pvctl fullmsg mat_tune1.f mul.f
```

- % ./comp.sx.sh

編集リスト(mat_tune1.L)

- サブルーチン呼び出しがあり、ベクトル化ができていない

```
LINE  LEVEL( NO.):  DIAGNOSTIC MESSAGE
 27  vec  (   3):  Unvectorized loop.
 28  opt (1017):  Subroutine call prevents optimization.
 28  vec  (  10):  Vectorization obstructive procedure reference.:mul

 25: +----->          do j=1,n
 26: |+----->          do k=1,n
 27: ||+----->         do i=1,n
 28: |||                call mul(n, moda, i, j, k, a, b, c)
 29: ||+-----         enddo
 30: |+-----         enddo
 31: +-----         enddo
```

4 . 自動インライン展開:インライン展開前の実行結果

実行

- % qsub run.sx.sh

結果ファイル(p4 - sx - sample.o * * * * *) 約 0 . 0 3 4 GFLOPS

```
***** Program Information *****
Real Time (sec)      :          62.914568
User Time (sec)     :          62.907500
Sys Time (sec)      :           0.003401
Vector Time (sec)   :           0.000264
Inst. Count         :       76243172300
V. Inst. Count      :           49097
V. Element Count    :       12567136
V. Load Element Count :           65582
FLOP Count          :       2147483784
MOPS                :       1212.187582
MFLOPS              :       34.137166
A. V. Length        :       255.965456
V. Op. Ratio (%)    :           0.016480
. . .
```


4 . 自動インライン展開: コンパイルオプションの追加

■ -pi expin=mul.fをcomp.sx.shに追加

```
sxf90 -V -Cvopt -R2 -Wf,-pvctl fullmsg mat_tune1.f mul.f -pi expin=mul.f
```

■ コンパイルオプションの意味

- -pi 自動インライン展開を有効にする
- expin=filename.f 展開元のサブルーチンが含まれるファイル(filename.f)を指定する

4 . 自動インライン展開: コンパイルオプションの追加

コンパイル

- % ./comp.sx.sh

インライン展開され、ベクトル化できた

```
27 vec ( 1): Vectorized loop.  
27 vec ( 29): ADB is used for array.: a  
27 vec ( 29): ADB is used for array.: b  
28 opt (1222): Procedure "mul" expanded inline.
```

```
.          do k = 1, 1024, 4  
. !cdir   nodep  
. !cdir   on_adb(a,b)  
.          do i = 1, 1024  
.              a(i,j) = a(i,j) + b(i,k)*dble(c(k,j)) + b(i,k+1)*dble(c(k+1,  
.              1          j)) + b(i,k+2)*dble(c(k+2,j)) + b(i,k+3)*dble(c(k+3,j))  
.          enddo  
.          enddo  
31          enddo
```

4段アウターアンローリングも行われている

```
25: +----->          do j=1,n  
26: |V----->          do k=1,n  
27: ||V----->          do i=1,n  
28: ||| A I              call mul(n, moda, i, j, k, a, b, c)  
29: |||V-----          enddo  
30: |V-----          enddo  
31: +-----          enddo
```

4 . 自動インライン展開:インライン展開後の実行結果

実行

- % qsub run.sx.sh

結果ファイル(p4 - sx - sample.o * * * * *) **約 4.2 GFLOPS**

```
***** Program Information *****
Real Time (sec)      :          0.052125
User Time (sec)     :          0.051285
Sys Time (sec)      :          0.000720
Vector Time (sec)   :          0.051107
Inst. Count         :        31902926
V. Inst. Count      :        14741449
V. Element Count    :        3773809248
V. Load Element Count :        1343291438
FLOP Count          :        2147483784
MOPS                :        73919.678756
MFLOPS              : 41873.526060
A. V. Length        :        255.999885
V. Op. Ratio (%)    :        99.547307
. . .
```

5 . 演習問題 : 行列積ライブラリの利用

目的

- 行列積ライブラリの性能を確認する

手順

- コンパイルスクリプトの修正
- コンパイル(リストの確認)
- 実行(結果、性能の確認)

ディレクトリ

- practice_5

5 . 行列積ライブラリの利用 : プログラム修正

mat_tune0.fをmat_tune.fにコピーしてから、mat_tune.fを修正

- % cp mat_tune0.f mat_tune.f
- % vi mat_tune.f (配列Cの型をreal(4)からreal(8)に変更する)

```
4      implicit real(8)(a-h,o-z)
5      parameter ( n=2048 , moda=0 )
6      real(8) a(n+moda,n),b(n+moda,n)
7      real(4) c(n+moda,n)
```



```
4      implicit real(8)(a-h,o-z)
5      parameter ( n=2048 , moda=0 )
6      real(8) a(n+moda,n),b(n+moda,n)
7      real(8) c(n+moda,n)
```

コンパイル

- % ./comp.sx.sh

5 . 行列積ライブラリの利用 : リストの確認

■ メッセージ、編集、変形リスト (mat_tune.L)

- 行列積ライブラリへ変換

- コンパイラが認識できる演算パターンでは、ライブラリへの置換が行われる

28 opt (1800): Idiom detected (matrix multiply).

```
25      do j=1,n
26        do k=1,n
27          do i=1,n
28            a(i,j)=a(i,j)+b(i,k)*c(k,j)
29          enddo
30        enddo
31      enddo
.      call vdmxqa (b, 1, 2048, c, 1, 2048, a, 1, 2048, 2048, 2048, 2048)
```

```
25: *----->      do j=1,n
26: |*----->      do k=1,n
27: ||V----->      do i=1,n
28: |||              a(i,j)=a(i,j)+b(i,k)*c(k,j)
29: ||V-----      enddo
30: |*-----      enddo
31: *-----      enddo
```

5 . 行列積ライブラリの利用 : 実行結果

実行

- % qsub run.sx.sh

結果ファイル(p5 - sx - sample.o * * * * *) **約 5 6 GFLOPS**

```
***** Program Information *****
Real Time (sec)      :          0.307382
User Time (sec)     :          0.306558
Sys Time (sec)      :          0.000721
Vector Time (sec)   :          0.306382
Inst. Count         :        134048176
V. Inst. Count      :          85247689
V. Element Count    :        21798240864
V. Load Element Count :          406978606
FLOP Count          :        17179869321
MOPS                :          71265.605044
MFLOPS              :          56041.171070
A. V. Length        :          255.704772
V. Op. Ratio (%)    :          99.776627
...

```

6 . 演習問題 : 自動並列化 (1)

目的

- 自動並列化機能を利用する

手順

- コンパイルスクリプトの修正
- コンパイル (リストの確認)
- 実行 (結果、性能の確認)

ディレクトリ

- practice_6

6 . 自動並列化:コンパイル

■ コンパイルスクリプトの修正

- 修正前

```
sxf90 -V -Cvopt -R2 -Wf,-pvctl fullmsg mat_tune0.f
```

- 修正後 (**-Pauto**を追加)

```
sxf90 -V -Cvopt -R2 -Wf,-pvctl fullmsg mat_tune0.f -Pauto
```

■ コンパイル

- % ./comp.sx.sh

6 . 自動並列化 : 編集、変形リストの確認

自動並列化

- DOループをサブルーチンに抜き出して、並列化を行う。
- サブルーチン名_ \$ n (nは1,2,3...)

```
25      do j=1,n
26        do k=1,n
27          do i=1,n
28            a(i,j)=a(i,j)+b(i,k)*c(k,j)
29          enddo
30        enddo
31      enddo
.      call main $2 ( a, b, c)
```

```
LINE          FORTRAN STATEMENT
.      subroutine main $2
.      !cdir pardo for, nobarr = (entry,exit)
.      !cdir nodep
.          do j = 1, 2048
.              do k = 1, 512
.                  !cdir
.                  !cdir nodep
.                  !cdir on_adb(a,b)
.                  do i = 1, 2048
.                      a(i,j) = a(i,j) + b(i,(k-1)*4+1)*dblc(c((k-1)*4+1,j)) + b
.                      1      (i,(k-1)*4+2)*dblc(c((k-1)*4+2,j)) + b(i,(k-1)*4+3)*
.                      2      dblc(c((k-1)*4+3,j)) + b(i,(k-1)*4+4)*dblc(c((k-1)*4+4
.                      3      ,j))
.                  enddo
.              enddo
.          enddo
.      enddo
.      end
```

```
25 mul ( 10): Parallel routine generated : main_$2
25 mul ( 1): Parallelized by PARDO.
```

```
25: P----->
26: |V----->
27: ||V----->
28: |||      A
29: ||V-----
30: |V-----
31: P----->
```

```
do j=1,n
do k=1,n
do i=1,n
a(i,j)=a(i,j)+b(i,k)*c(k,j)
enddo
enddo
```

P:自動並列化対象ループ

6 . 自動並列化 : 実行結果

実行

- % qsub run.sx.sh

結果ファイル(p6 - sx - sample.o * * * * *) (4 タスクで実行)

約 5.5 GFLOPS (自動並列化前(演習3)の約 1.4 倍の性能向上)

```
***** Program Information *****
Real Time (sec)      :          0.316257
User Time (sec)     :          1.216064
Sys Time (sec)      :          0.008273
Vector Time (sec)   :          1.164452
Inst. Count         :          243435038.
V. Inst. Count      :          117679849.
V. Element Count    :          30126037402.
V. Load Element Count :          10741746602.
FLOP Count          :          17179869334.
MOPS                :          24876.809601
MFLOPS              :          14127.438469
MOPS (concurrent)   :          97098.118145
MFLOPS (concurrent) :          55141.624328
A. V. Length        :          255.999967
V. Op. Ratio (%)    :          99.584305
Memory Size (MB)    :          512.000000
Max Concurrent Proc. :          4.
  Conc. Time(>= 1) (sec) :          0.311559
  Conc. Time(>= 2) (sec) :          0.310523
  Conc. Time(>= 3) (sec) :          0.310012
  Conc. Time(>= 4) (sec) :          0.284864
. . .
```

よく使うコンパイラオプション

	オプション名	サブオプション	内容
リスト制御	-V		コンパイラのバージョン情報を表示する。
	-R	2 5	コンパイラによる変形リスト、編集リストを出力する。 コンパイラによる編集リストを出力する。
	-Wf, -L [<i>list</i>]	fmlist summary objlist	コンパイラによる最適化処理およびベクトル化処理に関する各種レポート、リストを出力することを指定する。
	-Wf, -pvctl fullmsg		詳細な診断メッセージを出力することを指定する。
最適化レベル	-C	vopt (規定値)	最大限の最適化処理と規定レベルのベクトル化処理を行うことを指定する。
		hopt	最大限の最適化処理およびベクトル化処理を行うことを指定する。
		vsafe	最適化処理およびベクトル化処理を行うが、副作用を伴う可能性のある機能は抑止することを指定する。
		ssafe	ベクトル化処理を抑止し、副作用を伴う可能性のある最適を行わないことを指定する。
	-O	extendreorder	命令の並べ換えを行う範囲を広くして、より強力な命令並べ替えの最適化を行う。
	-pi	auto (規定値)	手続きの自動インライン展開を行うことを指定する。
		noauto	明示的なインライン展開を行うことを指定する。
		line=	自動インライン展開の対象となる手続きの最大行数を指定する。
		nest=	自動インライン展開の対象となる手続きのネストの深さを指定する。
		exp=手続き名	指定された手続きがインライン展開の対象となることを指定する。
		expin=ファイル名	指定されたファイルにインライン展開の対象となる手続きがあることを指定する。
	-Wf		きめ細かなオプションを指定する。
-pvctl chgpwr		べき算 $R1^{**}R2$ を $EXP(R2*LOG(R1))$ に置き換えることを指定する。	
-pvctl expand=n		ループ長がn以下のループを展開することを指定する。	
-pvctl noloopchg		ループ入れ換えによるベクトル化を行わないことを指定する。	
並列化	-P auto		自動並列化機能を使用することを指定する。
	-P openmp		OpenMP機能を使用することを指定する。(並列化対象サブルーチンのみ)
デバッグ	-e	C	実行時に配列要素参照の添字の値が、その配列に対して許される範囲内にあるかどうかチェックを行う。
		R	配列要素参照および配列部分参照において、添字あるいは部分配列添字の値が許される範囲内にあるかどうかチェックを行う。
	-Wf	-init stack=zero	スタックに割付ける領域を、0 で初期化することを指定する。
		-init heap=zero	ヒープに割付ける領域を、0 で初期化することを指定する。
性能解析	-ftrace		SXの性能分析ツールFTRACE対応の実行ファイルを作成することを指定する。

よく使う指示行

指示行	内容
vector/novector	直後のDOループをベクトル化する/しないことを指定する。
nodep	DOループ内データ依存関係が不明な場合、ベクトル化不可の依存がないものとしてベクトル化/最適化を行う。
outerunroll [=n]	外側ループのアンローリングを許可する
loopchg/noloopchg	ループ入れ換えによるベクトル化を行なうことを指定する。
expand [=n]	直後のDOループをベクトル化する/しない展開することを指定する。
shortloop	直後のDOループのループ長が、レジスタ長(256)以下であることを指定する。
select (vector concur)	直後のDOループに対して、ベクトル化を優先させるか、並列化を優先させるかを指定する。
on_adb [(識別子)]	直後のループ中の配列のベクトルロード、ストアにおいて、配列をADBにバッファリングする。

ライブラリ

■ コンパイラが自動的に置き換えるもの

- 行列積パターン

■ ソースコード修正により使用できるもの

- ASL/SX(科学技術計算ライブラリ)
 - ・ 行列演算、FFTなど
- Mathkeisan
 - ・ BLASライブラリ

おすすめコンパイルオプション

■ プログラムを初めてスーパーコンピュータ(SX-ACE)で実行する場合

- 既定値レベルの最適化、ベクトル化(-Cvopt)
- ベクトル化の状態を表示する編集リストの採取(-R2)
- ベクトル化が行われなかった場合の詳細メッセージ出力(-pvctl fullmsg)

```
sxf90 -V -Cvopt -R2 -Wf,-pvctl fullmsg “プログラムファイル名”
```

■ 正常終了した場合、-Choptを使用して-Cvoptの結果と比較

```
sxf90 -V -Chopt -R2 -Wf,-pvctl fullmsg “プログラムファイル名”
```

デバッグ用コンパイルオプション

正常終了したが、結果がおかしい場合

- 副作用を伴う可能性のある最適化を抑止 (-Cvsafe)

```
sxf90 -V -Cvsafe -R2 -Wf,-pvctl fullmsg “プログラムファイル名”
```

異常終了 (Segmentation fault) した場合、デバッグ用オプションで分析

- 配列外参照をチェック (-eC、-eRオプション)
- ベクトル化、最適化が抑止されるため、実行時間が長くなる

エラー終了したファイル(サブルーチン)のみにオプションをつけた方がよい

```
sxf90 -V -Cvopt -R2 -Wf,-pvctl fullmsg -eC “プログラムファイル名”
```

初期化漏れのチェック

- スタックに割り付ける領域をNaNで初期化する

初期化漏れの変数をアクセスするとアボートさせることができる

```
sxf90 -V -Pmulti -Cvopt -R2 -Wf,-pvctl fullmsg,-init stack=nan “プログラムファイル名”
```