

1S-10 気候シミュレーションプログラムの並列処理における 格子点分割の変換とその効果

稲田喜信 市川真一
富士通研究所

1. はじめに

差分法のような2次元や3次元格子点上の物理量を計算するモデルを分散メモリ型並列計算機上で並列化する場合、要素プロセッサ(以下セル)間の負荷のバランスや通信量を考慮した格子点の分割法、及びセル間の効率的な通信方法などを考慮する必要がある。今回、我々は気候シミュレーションプログラム(MRI・GCM-1)の並列化を試み、並列化の際に必要な上記のような項目について考察した。本発表ではそのうち格子点の分割方法と通信回数、負荷のかたよりの関係、また負荷のかたよりを防ぐための格子点分割の変換方法について述べる。また当社の高並列計算機AP1000の緒言を用いてこれらを評価した結果についても述べる。

2. 格子点の分割

MRI/GCM-1は大気中に設定された3次元格子点上の物理量を差分法を用いて解くプログラムである。プログラム構造は図1に示すように水平方向の移流を計算する断熱過程と、熱収支を伴う垂直方向の対流を計算する非断熱過程からなる。断熱過程は移流計算のため水平方向に隣接する格子点間でデータの参照が行なわれる。また極付近を除く格子点においてほぼ同様な計算であり格子点間の負荷のかたよりは少ない。一方、非断熱過程は垂直方向の対流計算のためこの方向のデータ参照が多く、水平方向の参照は稀である。また熱帯地方のように局所的に雨・雲が集中する場合にはその格子点に負荷がかたよるという特徴をつ。これらの過程を分割処理する際には非断熱過程の垂直方向の参照関係からこの方向での分割が困難なため水平方向の分割処理を行なう。その際図2のようなブロック分割とドット分割の2種類の方法を用いる。両方法はセル間の通信回数、負荷のかたよりの点で次に示すような特徴を持つ。

[通信回数]

ブロック分割：ブロックの境界に沿う格子点のみ通信が必要。

ドット分割：全格子点で通信が必要。

[負荷のばらつき]

ブロック分割：負荷の大きい格子点が集中するブロックは負荷大。

ドット分割：局所的な負荷の集中の影響を受けにくい。

Rearrangement of grid division pattern and its performance in parallel processing of climate simulation program

Yoshinobu INADA, Shinichi ICHIKAWA
FUJITSU LABORATORIES LTD.

そこで、断熱過程では格子点間の負荷がほぼ等しく、水平方向の格子点間のデータ参照が多いことから通信回数を抑えられるブロック分割を用いる。また非断熱過程では格子点間の負荷のかたよりが大きく、水平方向のデータ参照が少ないことからドット分割を用いる。

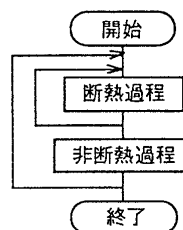


図1 プログラム構造

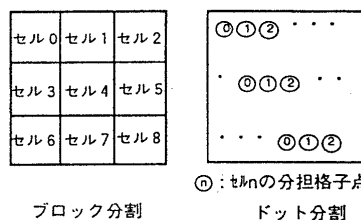


図2 格子点の分割方法

3. 格子点分割の変換

2. で述べた方法では断熱過程のブロック分割から非断熱過程のドット分割への格子点分割の変換に伴ってデータ配置の変換が必要となる。そこで次のような方法を検討する。

a) point-to-point 法

図3 a)に示すようにあるセルがブロック分割の際所有していたデータをあて先のセルに一格子点ずつ送信する方法である。同時に同じセルに送信しないように送信先のセルを選ぶ。

b) gather-broad 法

図3 b)に示すように東西方向に同じ列のセルがデータを一旦あるセルに収集し、そのデータを再びその列のセルに送信することによって同じ列のセルがデータを共有する。その後そのデータを南北方向に放送することによって全セルが全データを参照することができる。それぞれのセルは送られたデータの必要な部分のみを抜き取る。

c) shift-repetition 法

図3 c)に示すようにそれぞれのセルが自分の持つ全データ

ータを隣接するセルに同時に送信する。自分のデータを全セルが参照できるようにこの処理をセル台数分繰り返す。受けとったセルは自分が必要なデータのみを抜き取り次のセルへ送る。

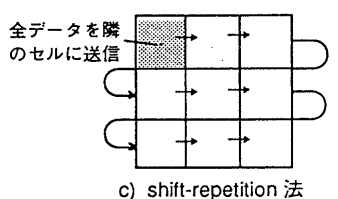
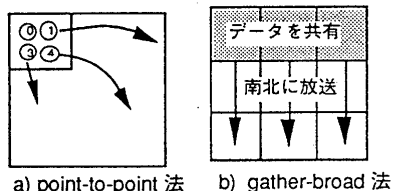


図3 データ配置の変換方法

4. 評価

4.1 格子点分割の変換の効果

非断熱過程をブロック分割で実行した場合とドット分割で実行した場合について、負荷が最大となるセルと最小となるセルの実行時間の比を示したものが表1である。ブロック分割では負荷のかたよりの影響でセル台数により2倍以上まで開きが見られるがドット分割にすることによってほぼ均等にすることができる。

4.2 データ配置の変換の評価

3であげた各方法についてデータの変換のための通信にかかる時間及びその全処理時間(断熱過程+非断熱過程)に対する比率を並列計算機AP1000の通信性能([3],[4])をもとに見積もったものが表2である。通信時間にはハードウェア時間及びそれ以外のローカルな処理の時間があるが、後者は前者に比べ無視できると考えて見積もった。a)の方法ではネットワークの同じ経路を同時に複数のデータが移動して送信速度が低下することが考えられるためその影響も考慮してある。並列化の際には通信処理のようなオーバーヘッドの部分は並列化の効果を下げってしまうため通信処理の割合が小さいほど良いが、ここではa)のpoint-to-point法が適しているといえる。

5. おわりに

今回試みたデータ配置の変換は非断熱過程のような負荷のばらつきが大きい例に対して負荷を均等にさせる効果を持つことが確認できた。また見積値ではあるが、データ配置の変換に用いた方法もAP1000の高速な通信性能を利用すれば全体処理の時間に対して短く、並列化の効率を大きく下げるものではないといえる。このことから

実用的なアプリケーションにおいて負荷のばらつきが問題になる場合に格子点の分割を変換するような処理を行うことが有効であるといえる。今後プログラミングを試み実際の効果を確認したい。

表1 最大・最小負荷セルの実行時間の比

セル台数	最大負荷セル/最小負荷セル (ブロック分割)	(ドット分割)
16(4*4)	1.29	1.05
64(8*8)	1.73	1.13
128(16*8)	2.40	1.19

表2 通信時間とその全体時間に対する比率

セル台数	通信時間[sec] (処理比率[%])		
	(a)	(b)	(c)
16(4*4)	4.1e-3 (5.5e-2)	0.57 (7.1)	0.20 (2.6)
64(8*8)	0.033 (1.8)	0.74 (28.3)	0.209 (10.1)
128(16*8)	0.099 (9.6)	0.76 (44.9)	0.211 (18.4)

参考文献

- [1] 気象研究所予報研究部：気象研究所大気大循環モデル-I(MR/GCM-1)，気象研究所技術報告第13号，1984。
- [2] 時岡達志：気候モデルとその数値計算上の特徴，情報処理学会誌，Vol.32 NO.8,1991。
- [3] H.Ishihata, T.Horie, S.Inano, T.Shimizu, and S.Kato, "An Architecture of Highly Parallel Computer AP1000", IEEE Pacific Rim Conf. on Communications, Computers, and Signal Processing, May 1991, pp.13-16.
- [4] 堀江，石畑，清水，池坂：高並列計算機AP1000のアーキテクチャと性能評価，電子情報通信学会研究会資料，CPSY91-26,p173-180,1991。