

分散処理環境における数値シミュレーションの静的負荷分散手法

山下 真史, 市川 周一

豊橋技術科学大学 工学研究科 知識情報工学専攻

Static load-balancing for distributed processing of numerical simulations

Shinji Yamashita and Shuichi Ichikawa

Dept. of Knowledge-based Information Engineering, Toyohashi University of Technology

市川ら [1] は、偏微分方程式 (PDE) の並列処理を例にとつて通信時間と計算時間の双方を考慮する静的負荷分散法を示した。この研究 [1] では各 PE (processing element) の構成・性能が全て等しい場合を扱っているが、一般に分散処理環境ではこの仮定が成り立たない。本研究では PE の性能が等しくない場合の静的負荷分散法を検討する。

本研究で扱う計算モデルは文献 [1] の計算手順 1 に基づくものである。問題は最終的に、矩形の計算ブロック (格子点配列) を PE の能力に応じて複数の矩形 (サブブロック) に分割することに帰着される (図 1)。各サブブロックの辺長は整数でなければならず、しかも各サブブロックをパズルのように組み合わせて元のブロックが構成できなければならない。各サブブロックを担当する PE 間には通信が発生し (例を図 1 に示す)、実行時間は計算時間と通信時間の和となる。全体の実行時間を最小化するには、各サブブロックの実行時間の最大のものが最小となるようなブロック分割を求めれば良い。計算時間は格子点数 (面積) の一次関数、通信時間は辺縁部の格子点数 (周長) の一次関数と見積もることとする。

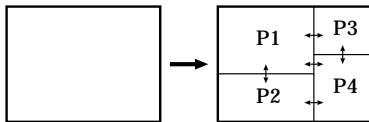


図 1: ブロックの分割

この問題は一種の組合せ最適化であるが、分割に図形的制約と多くの自由度があるため最適解を求めることが極めて困難である。そこで本研究では、まず緩和問題を解いて理論的下界値を求め、その後いくつかの近似的分割法の精度を下界値と比較して定量的に評価する。下界値は、(1) サブブロックの辺長は整数で無くても良い、(2) サブブロックの面積の和が元のブロックと等しければ良い、という緩和問題を解いて求めることにする。この問題は非線形計画問題であるが、評価関数が凸なので簡単に解ける。

近似的分割法としては以下の 2 つを評価する。いずれも切断面が直線であると通信量が減るという直観に従って、計算量のバランスを取りながら再帰的に直線分割してゆくとする手法である。以下、PE 数を N とおく。

- PE を 2 つのグループに等分し、グループ全体の処理速度に比例した格子点数を割り当てる。これを 1 グループ 1PE になるまで再帰的に繰り返す (type1)。
- まず PE を $\lfloor \sqrt{N} \rfloor$ 個のグループに分ける。そのグループごとに分割法 1 を適用する (type2)。

以上のように計算時間の均衡だけを考慮して分割すると、PE の処理能力に応じてサブブロックが大きくなったとき

通信量も増加する。通信性能は PE によらずネットワークで決まるので、計算時間が均等になるように分割すると速い PE ほど通信時間が大きくなって合計処理時間が平均より大きくなる。そこで処理時間を元に近似的分割を求めた後、大きなサブブロックから隣接するサブブロックに一部の格子点を移動して局所的負荷調整を行うと、実行時間が改善される (図 2, 図 3 の local)。

図 2 と図 3 に、以上の近似アルゴリズムの適用結果を示す。結果は理論的下界値を 1 として正規化した。図 2 では type2 と type2+local は全く同じ結果となっている。これらの結果から、type2 が type1 より優れており、局所的負荷調整も有効に働くことがわかる。

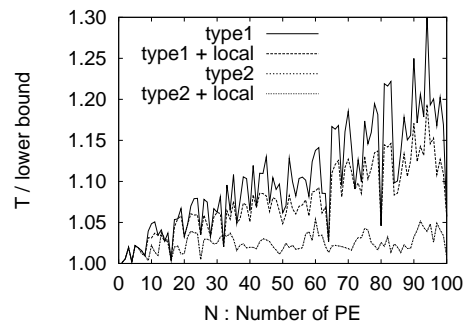


図 2: 各 PE の能力が均一な場合

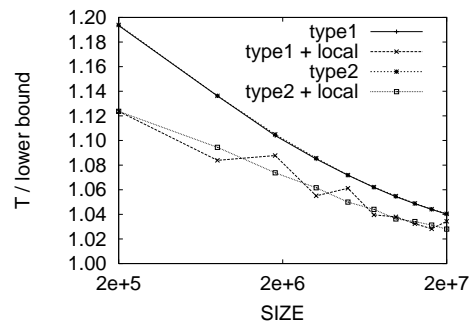


図 3: PE の能力が不均一な場合

今後はシミュレーション時のパラメータやブロック形状を変化させることでさまざまな分散環境を考慮し、広い範囲で本手法が適切かどうかを確認する必要がある。また複数ブロックへの適用方法も検討する必要がある。

参考文献

- [1] 市川, 川合, 島田: 組合せ最適化による並列数値シミュレーションの静的負荷分散, 情報処理学会論文誌, vol. 39, no. 6, pp. 1746-1756 (1998).