

# 並列数値シミュレーションの静的負荷分散法の拡張について

藤村 佳克, 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

## Enhancements on Static Load-balancing Scheme for Parallel Numerical Simulations

Yoshikatsu Fujimura and Shuichi Ichikawa

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

市川ら [1] は並列 PDE 求解システム NSL の静的負荷分散問題を組合せ最適化問題として定式化し, 分枝限定法を用いて実用的に最適解を求める方法を示した. しかしこの方法ではブロック数  $m$  とプロセッサ数  $n$  の間に  $m \ll n$  の関係がある場合にしか適切な負荷分散ができない. この制限を緩和するため仮想プロセッサを採用する方式も提案された [2] が, 性能が改善可能であることが示されただけで, 具体的・実用的な解決法は未解決のままであった.

本研究では  $m \geq n$  の場合について, 静的負荷分散を一種の箱詰め問題としてモデル化し, 分枝限定法でこの最適化問題を実現的規模まで解くことが可能か検討する. 本研究では文献 [1] の計算手順 1 に基づいた計算モデルを扱う. 計算領域は  $m$  個の並列に処理されるブロックからなり, 隣接するブロック間でデータの交換 (通信) が行われる. 各ブロックの処理時間は計算時間と通信時間の和となり, 各プロセッサの処理時間は担当するブロックの処理時間の和となる (同一プロセッサ内の通信時間は 0 とみなす). 全体の処理時間は各プロセッサの処理時間のうち最大のもので決まる. 問題は  $m$  個のブロックを  $n$  個のプロセッサに割り当てる方法 ( $n^m$  通り) の中から, 全体の処理時間を最小にする割り当てを探し出すことである.

分枝限定法を実用的に使うには良い初期暫定解が必須となる. 本研究ではブロックの計算時間と通信時間を考慮した 4 通りの近似アルゴリズムを評価した. 近似アルゴリズムによる初期可能解 (= 暫定解) を出発点とする再帰的近傍探索 (Local) も試みた. さらに, 複数の近似アルゴリズムや近傍探索を適用して, その中で最良の近似値を選択する手法も評価した (Best Effort). ブロック数を変えながらシミュレーションを行い, 近似解の精度を測定した結果が図 1 である. 結果は分枝限定法で求めた最適解を 1 として正規化してある. 各ブロックは正方形とし, 格子点数を 100 から 10000 までの範囲でランダムに決めた. プロセッサ数  $n$  は 4 とした. ブロック数が 32 以上になると実用時間内に最適解を求めることが困難となるため,  $m \leq 256$  の範囲で最良の近似値 (Best Effort) を 1 として相対評価を行った結果が図 2 である. 図 1 より近傍探索の優位性が確認できる. 初期解が悪くても近傍探索により一定レベルまで精度が改善される. 図 2 よりブロック数が増加しても近傍探索の優位性が変わらないこともわかる.

本研究の箱詰めモデルでは,  $m \geq n$  の条件を満たしていても各ブロックの計算量が大きく異なる場合に良い静的

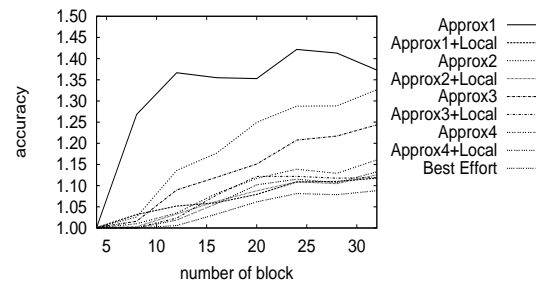


図 1: 近似解の精度

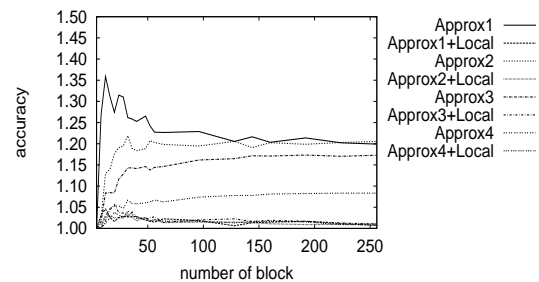


図 2: 近似解の相対評価

負荷分散を行うことができない. このような場合は文献 [1] のようなブロックの分割が必須となる. 本研究の最終目的は  $m, n$  間にどのような関係があっても適切な負荷分散を行うことである. そのためにはブロック分割と箱詰めを同時に行う実用的最適化手法を開発する必要がある. 今回の結果を踏まえて, データの自動分割とスケジューリングを融合した手法を検討してゆきたい.

### 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).
- [2] S.Ichikawa, T.Kawai, T.Shimada: Enhanced Optimization Scheme for Parallel PDE Solver of NSL, 並列処理シンポジウム JSP'98, p.143 (1998).