

# NAS Parallel Benchmark の実行時間予測モデルの改良

指導教官：市川周一

学籍番号：031003 朝倉正善

## 1 研究背景・目的

性能・構成が異なる要素プロセッサ (PE) で構成された計算機クラスタを不均一クラスタと言う。既存の並列応用の多くは各 PE に負荷を均等に分配するため、不均一クラスタ上で実行すると低速 PE がボトルネックとなり性能低下が生じる。

不均一な負荷分散の方法としてマルチプロセス法がある。マルチプロセス法とは高速な PE に複数のプロセスを起動する事で負荷を分散する手法である。

作元 [1] は実測値から実行時間予測モデル (N-T モデル) を構築し、NAS Parallel Benchmarks (NPB) のうち 4 つのプログラムについて (準) 最適なプロセス構成が予測可能である事を示した。しかし、その手法は可能な全ての構成についてモデル構築が必要なものであった。

そこで本研究では、高橋ら [2] の実行時間予測モデル (NP-T モデル) を用いて NPB (ver.2.4) のうち 4 つのプログラム (MG,CG,FT,LU) について実行時間予測モデルを構築し、最適なクラスタ構成を予測できるか検証する。

## 2 実行時間予測モデル

問題サイズを  $N$ 、同性能 PE の集合をサブクラスタ  $G_i$  とする。 $G_i$  内の起動する PE 数を  $P_i$  とし、 $G_i$  内の PE は等しく  $M_i$  プロセス起動する。クラスタ内のプロセス数  $P$  は  $\sum P_i M_i$  となる。 $G_i$  の実行時間  $T_i$  を  $N, P, M_i$  の関数で求めた時、全体の実行時間  $T$  は  $\max_i T_i$  となる。この  $T$  の近似式を実行時間予測モデルと呼ぶ。

本研究の目的は、 $N$  について  $T$  を最小化する構成 ( $P_i, M_i$ ) を予測する事である。可能な全ての構成に対して予測モデルを構築できれば、全構成 ( $P_i, M_i$ ) の中から、与えられた問題サイズ  $N$  について  $T$  を最小化する構成を予測する事が出来る。

MG のある  $M_i$  について  $T_i$  を  $N$  と  $P$  の関数で表すと式 (1) となる。高橋らはこの式 (1) を NP-T モデルと名づけた。また、PE 単独実行時には通信が行われないため、計算量のオーダーから見積もった実行時間予測式である式 (2) を用いる、これを N-T モデルと呼ぶ。式に含まれる係数は、実測値から最小二乗法で抽出する。

$$T(N, P)|_{M_i} = \frac{1}{P}(k_0 N^3 + k_1 N^2 + k_2 N + k_3) + k_4 \log_2(P) + k_5 \quad (1)$$

$$T(N)|_{P_i, M_i} = k_0 N^3 + k_1 N^2 + k_2 N + k_3 \quad (2)$$

通常の最小二乗法でパラメータ抽出を行った場合、 $k_i$  ( $i=0 \sim 4$ ) が負の値を取った場合に、予測実行時間が負の値になる可能性がある。負の実行時間が予測される事を回避するため、河合 [3] は抽出されるパラメータに非負制約をつけた非負最小二乗法を使ってモデルを構築した。

表 1: 評価環境

	サブクラスタ $G_1$	サブクラスタ $G_2$	サブクラスタ $G_3$
CPU	Pentium 4 3.6GHz	Xeon 2.8GHz	CeleronM 1.5GHz
OS	Red Hat Linux 9	FedoraCore 5	Red Hat Linux 9
開発環境	gcc-4.1.2, mpich-1.2.7p1		
$P_i$	$0 \leq P_1 \leq 4$	$0 \leq P_2 \leq 8$	$0 \leq P_3 \leq 8$
$M_i$	$1 \leq M_1 \leq 2$	$1 \leq M_2 \leq 1$	$1 \leq M_3 \leq 1$

表 2: 測定・評価範囲

	測定範囲	評価範囲
MG	$2^2 \leq N \leq 2^8$	$2^2 \leq N \leq 2^9$
FT	$2^4 \leq N \leq 2^8$	$2^4 \leq N \leq 2^8$
CG	$10000 \leq N \leq 50000$	$10000 \leq N \leq 50000$
LU	$60 \leq N \leq 140$	$60 \leq N \leq 140$

## 3 評価方法

本研究では表 1 の不均一クラスタを用い、NPB のうち次の 4 つのベンチマークを実験に用いた。パラメータ抽出の精度を高めるため抽出時のみ ( $0 \leq P_i \leq 8$ ) としている。非負最小二乗法、最小二乗法の両方で最適構成予測を行い比較する。サブクラスタで可能な全ての構成について実行時間を測定し、実測値から N-T, NP-T モデルを構築して最適構成を予測した。

同時に、不均一クラスタで可能な全ての構成で実行時間を測定し、真の最適構成を調べた。

MG 3次元ポアソン方程式を簡略化したマルチグリッド法。

CG 大規模で正値対称な疎行列の、最小固有値の近似値を共役勾配法で解く。

FT 3次元偏微分方程式を FFT (Fast Fourier Transform) を用いて解く。

LU 5x5 のブロックをもつ上下三角行列システムを SSOR (Symmetric Successive Over-Relaxation) 法で解く。

## 4 評価結果

最小二乗法と非負最小二乗法の比較を図 1 に示す、横軸は問題サイズ  $N$ 、縦軸は実行時間  $T$  を示す。図中の ls は最小二乗法を用いた場合の予測最適構成の実行時間、nnls は非負最小二乗法を用いた場合の予測最適構成の実行時間、optimal は実測最適構成の実行時間である。

二つの手法を比較した結果、最小二乗法よりも非負最小二乗法の方がより最適構成の実行時間に近くなっている事がわかる。

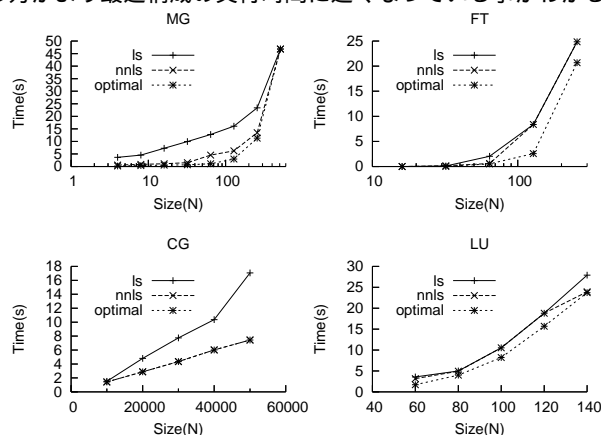


図 1: 最小二乗法 (ls) と非負最小二乗法 (nnls) の比較

## 5 考察

本研究では NPB の 4 つのベンチマークにおいて NP-T モデルによって (準) 最適構成の予測を行った。その結果、通常の最小二乗法のままでは自由度の高い NP-T モデルではパラメータ抽出の失敗が起きやすく、実際に MG や CG では実測最適構成からはかけ離れた構成を予測最適構成としていた。しかし非負最小二乗法を用いる事で、CG では最適構成予測に成功し、MG も予測精度を上げる事に成功した。

## 参考文献

- [1] 作元 佑輔: "NAS Parallel Benchmark の実行時間予測モデルの構築," 豊橋技科大 知識情報 卒業論文 (2005)。
- [2] 高橋翔, 市川周一: "不均一クラスタの最適構成予測モデルの各応用への適用と評価," 情報処理学会研究報告 2006-HPC-105, pp. 97-102 (2006)。
- [3] 河合 裕: "不均一クラスタのための実行時間予測モデルの構築法の改良," 豊橋技科大 知識情報 修士論文 (2007)。