

資源情報サーバにおける予測手法である類似法の改良と評価

平 孝 則[†] 小 出 洋[†]

分散コンピューティング環境における最適な資源割り当てに関する研究の一環として、分散コンピューティング環境上のプロセッサ負荷やネットワーク性能等の計算資源に関する情報（資源情報）を収集し、将来の値を予測する資源情報サーバ（Resource Information Server :RIS）の開発をおこなっている。現在 RIS システムには類似法と平均法の 2 種類の予測手法を実装している。類似法では現在の変動パターンと類似した変動パターンを過去のデータから検索し、そのデータをもとに予測をおこなう手法である。平均法では、現在の変動パターンから平均値を算出し、その結果をもとに予測をおこなう手法である。今回、類似法に改良を施し予測精度の性能向上をはかり、また類似法に用いるパラメータの最適解をさがす為の検証をおこなった。本論文では、RIS システムの概要について述べ、類似法の改良点及びその予測精度、実験結果について述べる。

Evaluation and reform of procedure of prediction in the Resource Information Server

TAKANORI HIRA[†] and HIROSHI KOIDE[†]

For the purpose optimum resource assignment in the distributed computing environment, we have developed the Resource Information Server(RIS). RIS gathers resource information, CPU and network loads, on a computer on distributed computing, and predicts the future resource. Today RIS system has two kinds of prediction procedure, they are the similar procedure and the average procedure. The first procedure predict by searching the most similar sequence of resource information to a recent trend of resource information. The second procedure predict by calculation average of a recent trend of resource information. we reformed the similar procedure the purpose of improvement it, and search optimized parameter for it. In this paper, a summary of RIS system, reform point for the similar procedure, evaluation and result are described.

1. はじめに

総務省では、「どこでも何ら制約を受けず、ネットワーク、端末、コンテンツを自由に、ストレス無く、安心して利用できる通信環境」の実現を目指し、「ユビキタスネットワークの研究開発」プロジェクトを推進している。このプロジェクトの研究課題である「新たな経路制御に関する応用技術の研究開発」における「最適な資源割り当てに関する研究開発」を遂行する為、我々は基盤ソフトウェアの開発を行っている。

Grid のような分散コンピューティング環境上では、複数の種々なるアーキテクチャ、複数のユーザから利用される為、各計算機のプロセッサ負荷やネットワー

ク性能等が常に変動していると考えられる。このような環境において効率よく計算資源を活用する為には、負荷変動を考慮したプログラムを用意するか、システムが計算資源の変化を予測し、その予測結果をもとに効率よくスケジューリングをおこなう手法が必要となる。

そこで、我々は基盤ソフトウェアである資源情報サーバ（Resource Information Server:RIS）¹⁾とタスクスケジューリングシステムを開発し、ユーザがプログラムを用意するのではなく、ユーザに負担をかける事なく効率のよい資源割り当てをおこなえるシステムを目的として研究をおこなっている。RIS は、分散コンピューティング環境上のプロセッサ負荷やサーバ間のネットワーク性能等、計算資源に関する情報を収集し、それらをもとに任意の予測手法で将来の資源情報の値を予測する事が出来る。また、タスクスケジューリングシ

[†] 九州工業大学 情報工学部

Department of Artificial Intelligence, Kyushu Institute of Technology

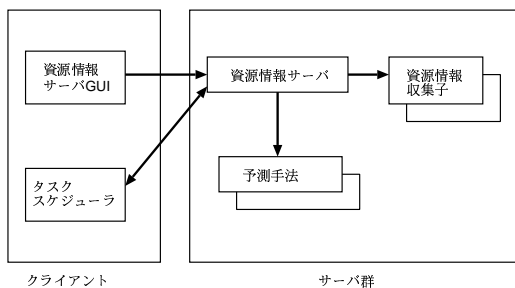


図1 RISのシステム及びクライアントの構成

システムは、タスクの集まりをジョブと定義し、ジョブの実行時間なるべく短くなるように任意のスケジューリング手法で各タスクを計算機に割り当てる事が可能である。

現在、RISシステムには類似法と平均法の2種類を実装しており、既に予測精度に関する測定をおこなった²⁾。今回は類似法の実装に手を加え、予測精度の向上をはかった。類似法では過去の資源情報を記録しているデータベースから現在の資源情報に関わる負荷変動パターンと類似している過去の負荷変動パターンを見つけ出す。今回の実験では、データベースからどれだけ似ているパターンを取り出せるか、どのようなパラメータを用いるのが予測に最適なのかを検証した。

本論文では、RISシステムの概要を述べ、類似法による予測手法の予測精度やパラメータについて検証した結果を述べる。

2. 資源情報サーバ:RIS

2.1 RISシステムの構成

RISシステムのシステムはRIS本体、資源情報収集子、及び予測クラスから構成(図1)されている。また、RISを利用するクライアントには資源情報サーバGUIやタスクスケジューラ等があげられ、その手法にはクリティカルパススケジューリング法やクリティカルパス/メモリ管理型スケジューリング法³⁾等が存在する。

資源情報サーバ、つまりRISシステムの中核に位置するRIS本体はあらかじめ用意された定義ファイルに従い、測定対象となる各計算機に資源情報収集子を生成する。定義できる情報には、資源情報を収集する測定対象のIPアドレス、資源情報を収集する間隔(msec)、計算機間のネットワーク性能を測定する場合には、測定対象となる二つの計算機のIPアドレス

Host Name	CPU Speed	Latency	Band Width
133.69.139.193	478	0	0
133.69.139.194	DOWN	0	0
133.69.139.195	453	0	0
133.69.139.196	461	0	0
133.69.139.200	381	0	0
133.69.139.201	400	0	0
133.69.139.202	454	0	0

図2 資源情報サーバ GUI

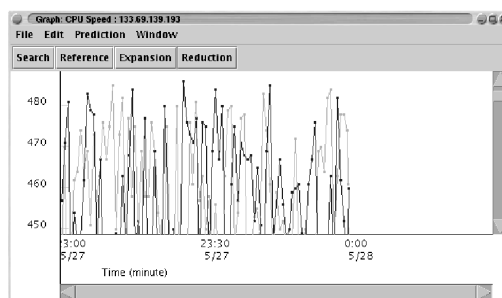


図3 資源情報サーバ GUI 2

(ある計算機の5月27日23時頃の資源情報及び予測結果)

等の情報を定義できる事が出来る。これらの情報が書かれた定義ファイルに従って、対象となった計算機に資源情報収集子を生成する。資源情報収集子は各計算機でプロセッサ負荷やネットワーク負荷の測定をおこない、それらの資源情報をデータベースへ蓄積する。

RISはクライアントからの要求に従って、適切な結果をクライアントへ返答する。予測情報を用いるスケジューラからの要求であれば、スケジューラへ適切な予測情報を応答する他、資源情報サーバGUI(図2)から現在の負荷変動の表示要求がある際には、現在の資源情報を応答する(図3)。この際、RISは適切な予測クラスへクライアントの要求に従ったパラメータを引き渡し、予測命令を発行した後、予測クラスからの返答を取得する。

RISシステムで取得できる情報には以下の表1のようになっている。

3. 予測手法

現在実装されている予測クラスは、類似法と平均法の2種類を実装しており、どちらの方法も現在の資源情報の変動パターンをもとに予測をおこなう手法である。とくに類似法では、現在の変動パターンと類似しているパターンを過去の資源情報データベースから検

表 1 現在の RIS で取り扱える情報

プロセッサ負荷	その時点での単位時間における 単位プログラムの処理量
メモリ容量	計算機が持つメモリ領域
メモリ空き領域	その時点でプログラムが使用 可能な空きメモリ領域
ネットワークレイテンシ	その時点でのバケットの先頭 データが相手に届くまでの時間
ネットワークバンド幅	その時点での単位時間における データの送信量

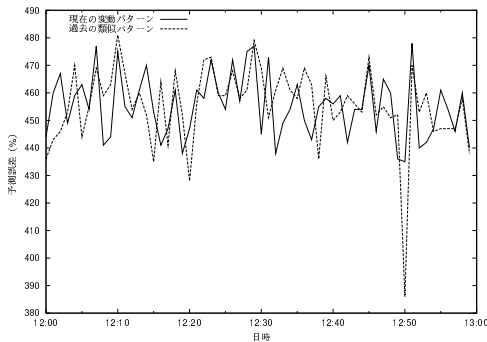


図 4 現在の変動パターンと過去の類似パターン

索し、この情報をもとに資源情報の予測をおこなう。

- (1) 予測対象時刻の過去 p 秒における資源情報の変動パターンを q 秒毎に正規化（内挿補完）をおこない、時間毎に u_1, u_2, \dots, u_m とする。
- (2) 検索対象となる過去の資源情報の l 秒間のデータを q 秒毎に正規化し、時間毎に v_1, v_2, \dots, v_n とする。
- (3) 以下の式で定義する類似度 $R(x)$ が最小になるようなインデックス x を求める。

$$R(x) = \sum_{i=1}^m (v_{x+i} - u_m)^2$$

- (4) 今後の資源情報の変化は、過去 p 秒の資源情報の変動パターンと最も類似している過去の変動パターンのその後と同様の変化になると仮定する。つまり、今後の資源情報の変動は $v_{x+m+1}, v_{x+m+2}, \dots$ となる。

平均法では、迅速に予測をおこなう事を目的としている為、最近の資源情報の変動パターンを用いて予測をおこなう。予測対象時刻の r 秒における資源情報の平均値を予測結果として出力する。

図 4 と図 5 をもちいて予測手法の実例を紹介する。5月26日12時から3600秒の予測をおこなった。まずはじめに、現在までの資源情報の変動パターンを抽出し、5月25日7時40分からのデータがもっとも類

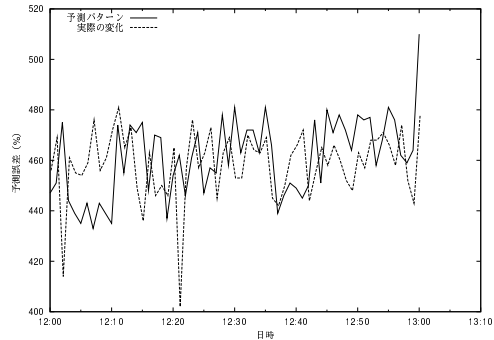


図 5 実際の変動パターンと予測結果

似していると判断し、資源情報データベースから抽出してグラフ化したものが図 4 である。したがって、その後の変動パターンを予測結果として類似法は出力する。その結果と実際の変動パターンを比較しているグラフが図 5 である。

このように、現在の資源情報の変動パターンと類似しているものを資源情報データベースから見つけ出し、その後の変動パターンを抽出する手法が類似法である。

4. 類似法における性能評価実験

4.1 実験手順

現在、RIS システムにおける予測手法のうち、類似法における予測をおこなう際の最適なパラメータは定まっておらず、今のところ明確な指針がない。そこで今回、最適なパラメータを定める指針を得る為に種々のパラメータを変更し実験をおこなった。

今回の実験に用いた計算機は、我々の研究室で用いている実験用クラスタを構成するうちの 1 台の計算機のプロセッサ負荷を対象として、予測をおこなう。この計算機はグローバル IP を持っており、また複数のユーザによって使用される為、適度な外乱が予想される。

前回²⁾と同様に、あらかじめ RIS で事前に収集していた資源情報データを用いる。2004 年 5 月 7 日から 2004 年 5 月 30 日までの資源情報のデータを 10 秒毎に記録しており、その期間のプロセッサ負荷の様子は以下の図 6 のようになっている。プロセッサ負荷は単位時間におけるプログラム処理量から算出しており、この値が低い方がプロセッサに負荷がかかっている状態を示す。

予測値を v_1, v_2, \dots, v_m 、実測値を $u_{x+1}, u_{x+2}, \dots, u_{x+l}$ とし、また、 v_i に対応する時刻を tv_i 、 u_{x+i} に対応す

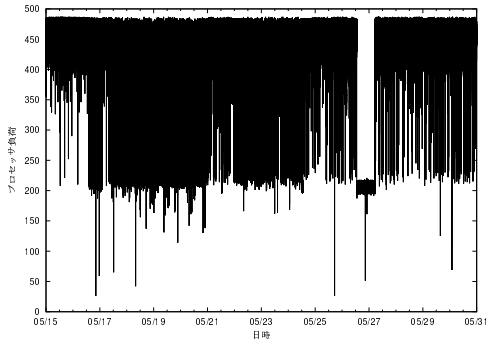


図 6 性能評価実験に使用した期間の資源情報

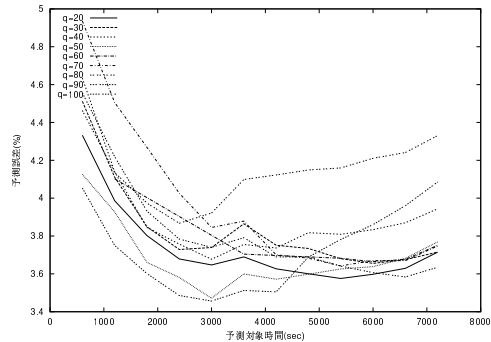


図 8 p を変化した際の予測精度

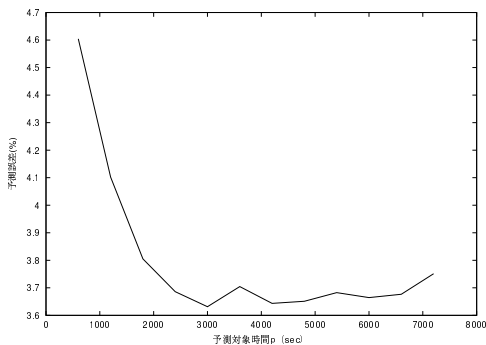


図 7 q=60 (sec) で、p を変化した際の予測精度

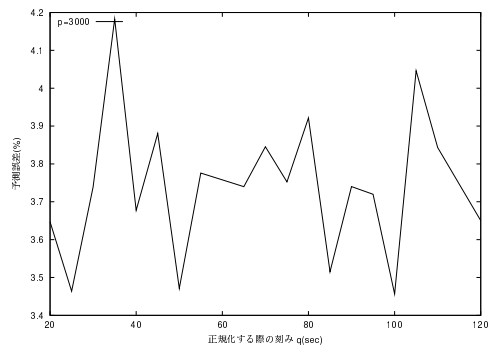


図 9 p=3000 (sec) で、q を変化した際の予測精度

る時刻 tu_{x+i} と定義する．この時、予測誤差は以下の式から与えられる 1 秒あたりにおけるプロセッサ性能の比として求められる．

$$\text{予測誤差 (\%)} = \left| 1 - \frac{\sum_{i=1}^m v_i \times (tv_{i+1} - tv_i)}{\sum_{i=1}^l u_{x+i} \times (tu_{i+1} - tu_i)} \right| * 100$$

類似法に与える事の出来るパラメータには、正規化する際の基準となる q (sec)，予測対象時間である p (sec) がある．今回の実験では、 p の値を 20 ~ 120 (sec) まで 5 (sec) 刻みで変更し、予測をおこなった．また、 p の値を 600 ~ 7200 (sec) まで 600 (sec) 刻みで変更した．これらのパラメータを変化させて予測精度の測定をおこなう事で、 p, q のそれぞれの定数を定める指針にする．

4.2 実験結果

予測対象期間には、5月11日0時から5月30日24時までの期間を選択し、この期間における p 秒おきの時刻において、 p 秒間の予測をおこなった．

まず、 $q = 60$ と固定し、 p を変化した場合の予測誤差を図 7 に示す．この図から p の値が小さすぎる時、予測誤差が高くなっており、ある程度 p が大きい

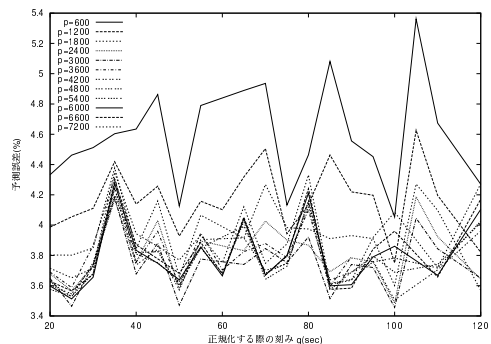


図 10 q を変化した際の予測精度

方が予測誤差が低くなっている事が分かる．このグラフからは $q=3000$ の場合に予測精度が最も高くなっていると判断できる．また、この傾向は p の値を変化させた場合にも同じ傾向が出ている．これらをまとめたグラフを図 8 に示す．

p の値が大きくなるほど広い範囲を予測する事になるが、予測誤差は実測値と予測値の 1 秒辺りにおける性能の比で計算している為、相対的に誤差が小さくなると考えられる．

次に、 p の値を固定し、 q を変化した場合の予測

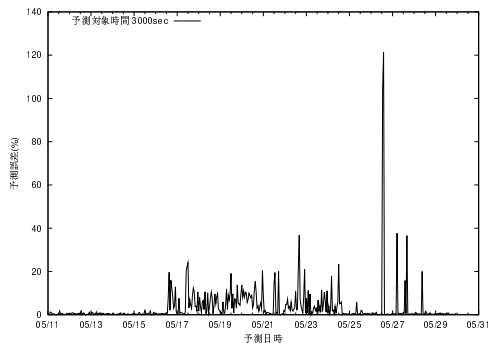


図 11 p=3000 q=100 日別予測誤差

誤差を図 9 に示す。ここでは、 p の値を先の実験で最も予測精度が高くなった $p=3000$ に固定して予測精度を計測した。 $q=100$ とした場合に予測精度が最も高くなった。 p の値を変化させた場合も同様に $q=100$ もしくは $q=50$ において予測精度が高くなっている事がわかった。これらをまとめたグラフを図 10 に示す。

q の値に関しては、規則性を見つけ出す事が出来なかったが、 p の値に関わらず $q=25, 50, 75, 100$ の場合の予測精度は高く、逆に $q=30, 80, 105$ の場合の予測精度は低くなっている特徴を持っている。

これらの結果から、今回の実験に用いたような環境において、類似法で用いるパラメータとして $p=3000$ $q=100$ が最適であったと考える。この場合における予測誤差の平均は 3.46% であり、非常に高精度な予測が出来ていると考えている。この実験結果を日別別にグラフにしたものが図 11 である。急激な負荷変動を予測する事ができていなかったが、その後の予測があたっている事から、過去の資源情報をうまく利用する事が出来た結果が表れているといえる。

5. まとめと今後の課題

先におこなった実験²⁾では、平均法による予測誤差が 4.6%ほどであり、前回の実装における類似法の予測誤差は 16.8%ほどであった。今回の実装における類似法の予測誤差は 3.84%と非常に向上した結果を残しており、平均法よりも精度の高い予測ができています。類似法の目的である高精度な予測を達成しているといえる。

また今回の実験結果より、我々が用いている分散コンピューティング環境では、予測対象時間 $p=3000$ (秒)、正規化に用いる $q=100$ (秒) が最も適しているという結果が得られた。これは今後類似法を用いる上での非

常に有用な指針になると考えている。だが、類似法の最適なパラメータ決定には、RIS システムが資源情報をどのような間隔で収集しているのかにも密接な関わりがあると考えており、データを収集する間隔、負荷の変動の様子によっては類似法に与えるパラメータの再構成が必要であると考えている。これらに関して、RIS を用いた様々な分散コンピューティング環境での実験をおこない、さらなる検証を加えていく必要があると考えている。

6. スケジューラとの組み合わせ

RIS システムの予測情報を用いてスケジューリングをおこなう際には、予測結果をどの程度信頼し、どのような目的でスケジューリングをおこなうのかを十分に考えなくてはならない。例えば、一つの分散プログラムが出来る限り早く終わるようにスケジュールをおこなうのか、分散コンピューティング環境上で動いているプログラム全体として効率よく処理を割り振るのかに注意してスケジューリングをおこなう必要がある。

今回の実験結果でも著しく予測が外れているポイントが存在しており、予測が常に正しいわけではない事を念頭に入れておく必要がある。一つの指針として、予測手法の予測結果がどの程度の信頼性を持ったものかをスケジューラに引き渡すという事が考えられる。この場合は、現在までの予測手法にかかる時間に更に信頼性を算出する計算時間が加算され、予測に関する計算で今まで以上のコストがかかってしまうだろう。今後は、信頼性との兼ね合いを調節できるような手法を考案、検討したい。

謝辞 本研究の一部は文部科学省科学研究費補助金 (課題番号 16016271, 15700063)、及び総務省の援助により行なわれた。

参考文献

- 1) 小出 洋, 山岸 信寛, 武宮 博, 笠原 博徳, 資源情報サーバにおける資源情報予測の評価, 情報処理学会論文誌:プログラミング Vol42, No.SIG3(PRO 10), Mar, 2001.
- 2) 平 孝則, 小出 洋, 資源情報サーバの新しい予測手法と性能評価, 情報処理学会研究報告, 2004-HPC-99, pp. 277-281, (2004).
- 3) 小出 洋, 谷口 慶介, 分散環境における記憶領域資源を考慮するタスクスケジューリング手法, 情報処理学会 夏のプログラミングシンポジウム, Sep, 2002