

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 28 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24360154

研究課題名(和文)耐障害・省電力運用のためのWebシステム自動再構成方式の開発

研究課題名(英文) Automatic Reconfiguration of Web-based System for Fault-tolerant and Energy-efficient Management

研究代表者

薦田 憲久 (Komoda, Norihisa)

大阪大学・情報科学研究科・教授

研究者番号：90234898

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,600,000円

研究成果の概要(和文)：Webシステムの耐障害・省電力運用を実現する手段として、Webサービスを提供する仮想マシンをなるべく少ないサーバで稼働させて省電力化を図り、障害が生じた仮想マシンを調査することで障害からの早期復旧を図ることが重要である。このようなWebシステムの運用を実現するため、以下の研究を実施した。

- (1) サーバのリソース使用量にもとづいて、障害の検知モデルを構築し、リアルタイムで障害を検知する方法を開発した。
- (2) 仮想マシンが使用するサーバリソースにもとづいて、消費電力量を最小化するように、サーバ上の仮想マシンの配置を決定する方法を開発した。

研究成果の概要(英文)：It is effective for fault-tolerant and energy-efficient management of web-based systems to consolidate virtual machines to small number of servers and diagnose failures on virtual machines early. In order to realize the management of web-based systems, we have developed the following methods:

- (1) A model-based anomaly detection method based on server resource usage
- (2) A scheduling method of virtual machine placement based on server resource usage to minimize power consumption.

研究分野：大規模システム管理

キーワード：システムモデリング 最適化 クラウドコンピューティング Webシステム

1. 研究開始当初の背景

Webシステムを運用する上で最も重要となるのが、障害を防止することであり、サーバの計算リソースを論理的に分割した仮想マシンを複数実行し、冗長性をもたせた Web システムが運用されている。一方、東日本大震災以降、データセンタにおいても省電力化が必要とされており、仮想マシンをなるべく少ないサーバで実行することで、サーバの消費電力を削減する試みがなされている。耐障害性と省電力性を両立させて Web システムを運用することは重要な課題である。

Webシステムの耐障害・省電力運用のため、管理者は計算リソースの使用量に着目する。計算リソースの使用量が設計段階の基準値(設計基準値)から大きく異なる状況を、障害の可能性を示す異常として検知する。異常が検知されると、障害を回避するための冗長化や異常の修正を行う。また、計算リソースの使用量が小さい仮想マシンは、1 台のサーバに集約して、サーバの消費電力を削減できる。このことから、逐次変化する計算リソースの使用量に応じて、仮想マシンの冗長化、マイグレーション等、Web システムを再構成することが求められる。

このため、Web システムを構成する仮想マシンやアプリケーション等の計算リソース使用量を監視するソフトウェアが多数開発されている。しかし、監視すべき計算リソース使用量は膨大であり、また、仮想化によって Web システムの自由度が飛躍的に向上していることから、人手で Web システムの最適な構成を決定することは困難である。

2. 研究の目的

本研究では、耐障害・省電力運用のために、Web システムを自動で再構成する技術を開発することを目的とし、以下の研究を行った。

(1) Web システムの異常検知技術

Web システムにおけるアプリケーションのリソース使用量にもとづいて、障害の予兆となる Web システムの異常を検知する技術を開発する。

(2) 仮想マシン配置スケジューリング技術

Web システムを構成する仮想マシンを、サーバの計算リソース容量を超えないように、なるべく少ないサーバに配置する。仮想マシンのマイグレーションには電力を必要とするため、計算リソースの使用量を予測して、マイグレーション回数の少ない配置スケジュールを作成する。

3. 研究の方法

研究目的で述べた技術を開発するため、それぞれ以下のように研究を推進した。

(1) Web システムの異常検知技術

Web システムの異常には、Web アプリケーションそのものの異常と Web アプリケーション以外の異常がある。まず、Web システム

全体としての異常検知を行い、異常が検知されれば、どの Web アプリケーションに異常があるかを検知する。Web システム全体の異常を検知する方法として、Web システムの総リソース使用量とそれらの平均値を統計的に比較する手法が考えられる。しかし、異常ではないものの、瞬間的に計算リソース使用量が増大するスパイクが発生して、異常として誤検知する原因となる。また、Web アプリケーションそのものの異常を検出する手法として、各アプリケーションの計算リソースの使用量と設計基準値を統計的に比較する方法が考えられる。しかし、Web システムにおいては、ユーザのリクエストに応じて、単一のアプリケーションが並列的に実行され、それらの計算リソースを個別に計測することは困難である。そのため、計測可能な計算リソース使用量の総量から、各アプリケーションの異常を検出する方法が必要となる。

図 1 にスパイクを除去しつつ、アプリケーション以外の異常を検知する方法を示す。リソース使用量に関する自己回帰モデルを逐次構築し、自己回帰モデルによる予測値と異なるリソース使用量が観測された場合は、暫定的に異常とみなす。その異常が瞬間的なものかどうかを、自己回帰モデルの係数ならびに構造変化検定を用いて判定する。両方の判定方法で、異常が瞬間的でないと判定されれば、暫定的な異常はスパイクではなく、検出すべき異常と判定する。

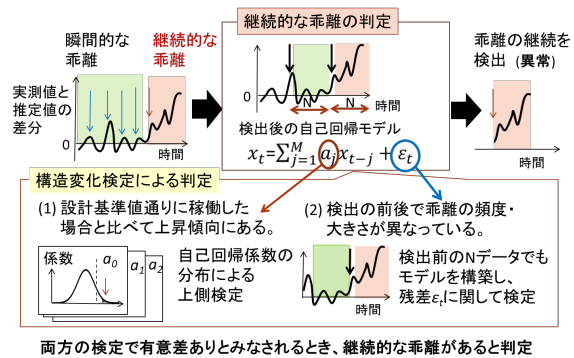


図 1 自己回帰モデルによる異常検知

図 2 に計算リソース使用量の総量から、各アプリケーションの異常を検出する方法を示す。各アプリケーションのリクエスト数を説明変数、正常時を想定したときのリソース使用量の総量を目的変数とする重回帰モデルを構築する。異常なリソース使用量を含めて重回帰モデルを構築すると、重相関係数が低下することから、重相関係数に対する閾値を用いて、異常の有無を検知する。また、各アプリケーションの異常なリソース使用量を補正するダミー変数を重回帰モデルに加えることで、重相関係数が改善した場合、ダミー変数が対応するアプリケーションに異常が発生しているとみなす。

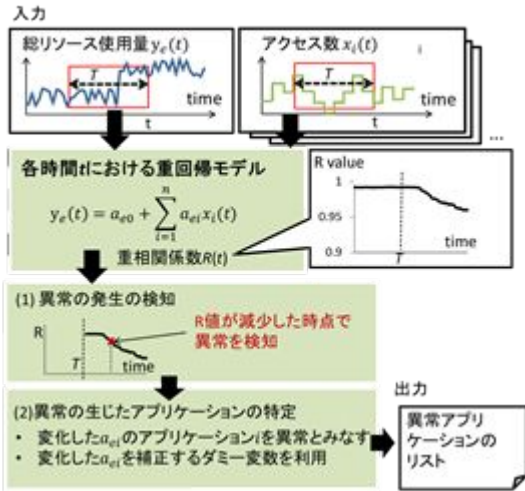


図2 重回帰モデルを用いた異常検知

(2) 仮想マシン配置スケジューリング技術

仮想マシン配置問題は、一般にビンパッキング問題の一つとして定式化され、様々な離散最適化のアルゴリズムが適用されている。本研究では、仮想マシンのマイグレーションに電力を消費することを考え、ある時点での最適配置を求めるのではなく、一定期間における最適な配置スケジュールを求め、しかし、サーバ数、仮想マシン数が大きいデータセンタを対象とすると、最適な配置スケジュールを実時間で求めることが困難となる。

最適な配置スケジュールを効率よく求めるため、サーバと仮想マシンを複数グループに分割し、消費電力の削減の見込みのない仮想マシン配置からの探索を打ち切る分枝限定法を適用する。分枝限定法を用いた仮想マシン配置スケジューリングについて図3に示す。ある仮想マシン配置に対する見込みの消費電力を、整数条件を除去して緩和したビンパッキング問題を解いて求める。見込みの消費電力を下界値とし、暫定的に求めたスケジュールの消費電力より大きければ、探索を打ち切る。

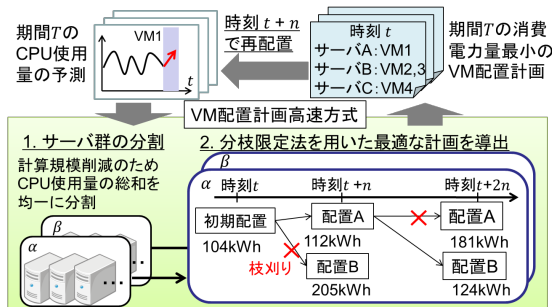


図3 分枝限定法を用いた仮想マシン配置スケジューリング

しかし、サーバ、仮想マシンが数百台規模のデータセンタでは、上記の方式を用いても、スケジュール作成に30分程度の計算時間を要する場合があります。そこで、計算時間内に再配置できるよう、再配置の間隔を決定する。その間隔の中で、仮想マシンの最大移動数、

サーバ利用台数を制限し、高速にスケジュールを作成する。再配置の間隔、仮想マシンの最大移動数、サーバ利用台数を探索パラメータと呼ぶ。探索パラメータは、仮想マシンのリソース使用量の変化に大きく依存し、例えば、リソース使用量が急激に変化する状況では、再配置間隔を短くして、スケジューリングを何度も見直すほうが良い。

そこで、仮想マシンの過去のリソース使用量の変化に対して、様々な探索パラメータを試して、最善の探索パラメータを決定しておく。運用時は、過去の類似したリソース使用量の変化を探して、そのときの最善の探索パラメータを用いる。しかし、非常に類似したリソース使用量の変化が、必ずしも存在するわけではないので、類似した複数のリソース使用量の変化を協調的に用いて、運用時に用いる探索パラメータを決定する。

図4に協調フィルタリングによる探索パラメータ決定方式について示す。過去のリソース使用量の時系列データと当日の時系列データとのユークリッド距離を非類似度、探索パラメータを用いた場合の消費電力のランクを用いて、協調フィルタリングにもとづく推薦度を決定する。推薦度最大となる再配置間隔を決定したのち、再配置間隔以降において、推薦度最大となる仮想マシン最大移動数、サーバ利用台数を決定する。

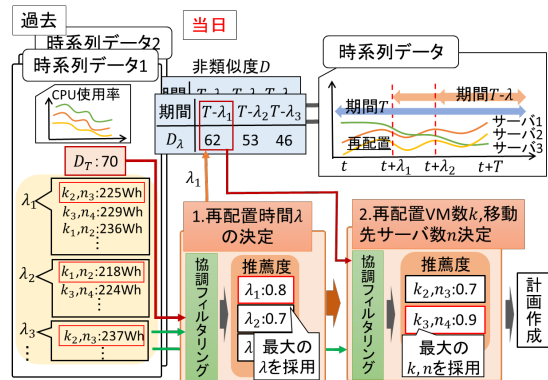


図4 協調フィルタリングによる探索パラメータ決定

4. 研究成果

開発した技術ごとに研究成果を述べる。

(1) Webシステムの異常検知技術

Webシステム全体のCPU使用率を10000秒間計測して1セットとし、計200セット計測した。各セットに0.005%/秒で増加する異常を与え、異常を検知できるか確かめた。設計基準値との比較、自己回帰係数を用いた方式、構造変化検定を用いた方式、提案方式を適用し、1時間当たりの誤検出数、検出時間を求めた。実験には、CPUがIntel Xeon 5620 (2.40 GHz, 4 cores)、メモリが16 GBの計算機を利用した。

1時間当たりの誤検出数、検出時間の平均値を表1に示す。表1に示すように、提案方式では、1時間あたり0.0036回という非常に

少ない誤検出数に抑えることができた。検出時間は約6分程度に増加したが、実用上、問題ない程度に抑えられている。

表1 Webシステム全体の異常検知の結果

	誤検出数[回] (1時間あたり)	検出 時間[秒]
基準値比較	297	221
自己回帰係数	4.8	253
構造変化検定	0.51	378
提案方式	0.0036	380

また、20種類のアプリケーションが同時稼働するWebシステム上で、最大5種類のアプリケーションが同時に異常を示すことを想定して、CPU使用率が50%増加するような異常が発生しているアプリケーションを検出する実験を行った。比較のため、提案方式だけでなく、重回帰モデルで各アプリケーションのリソース使用量を推定し、閾値で判定する方式も適用した。異常を発生させたアプリケーションの数ごとに、検出の再現率、適合率と、検出時間を図5に示す。提案方式では、5種類のアプリケーションに異常が発生したとしても再現率、適合率はともに80%を維持できている。また計算時間も1秒以下であり、高速に動作することを確認した。

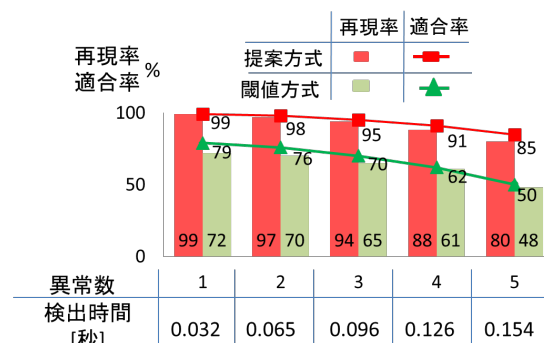


図5 アプリケーションの異常検知の結果

(2) 仮想マシン配置スケジューリング技術

開発した方式を用いた場合の省電力効果と計算時間を実験によって評価する。比較対象として、最適なスケジュールを作成可能な動的計画法と、高速にスケジュールを作成可能なグリーディ法を用いる。実験には、CPUがIntel Core i7-2600K 3.4GHz、メモリが8GBの計算機を使用した。

まず小規模なデータセンタを想定し、最適なスケジュールと比較して、どの程度、低い消費電力を達成できているかを評価する。実験結果を図6に示す。図6に示すように、動的計画法による最適なスケジュールと比較すると、提案方式のスケジュールは、消費電力量が1.3%多くなるが、計算時間は0.3秒と非常に短い。なお動的計画法は、サーバ4台、仮想マシン12台の規模が、計算時間の関係上、適用可能な限界であった。

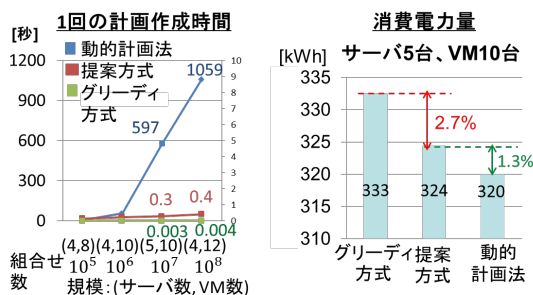


図6 小規模の場合の計算時間と消費電力

より大規模な場合として、サーバ200台、仮想マシン400台を想定して実験を行い、計算時間と消費電力を評価する。比較対象として、グリーディ法だけでなく、探索パラメータを一意に固定する方法、非類似度で探索パラメータを決定する方法も適用した。比較結果を図7に示す。図7に示すように、探索パラメータをリソース使用量に応じて変化させることで、計算時間を短縮しつつ、同程度の消費電力に抑えることができている。

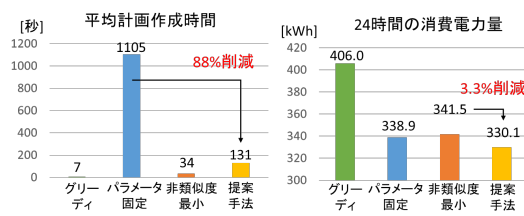


図7 大規模な場合の計算時間と消費電力

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

- [1] M. Samejima, H. Ohno, M. Akiyoshi, N. Komoda, and M. Yoshino, "An Anomaly Detection Method on Web-based System by Trend Analysis with Autoregressive Model," 電気学会 C 部門論文誌, Vol. 134, No. 6, pp.814-820, 2014 (査読有)
- [2] 津田祐輝, 鮫島正樹, 秋吉政徳, 薦田憲久, 吉野松樹, 重回帰分析のダミー変数選択による Web システムの業務別異常検知方式, 電気学会 C 部門論文誌, Vol. 133, No. 7, pp.1410-1416, 2013 (査読有)

〔学会発表〕(計12件)

- [1] H.T. Minh, M. Samejima, and N. Komoda, "A Restraint Usage Estimation Method of Server Resource for Peak Shaving in Data Center by Piecewise Linear Regression", in Proc. of 3rd Asian Conf. on Information Systems (ACIS 2014), pp. 41-47, 2014 (査読有)
- [2] R. Kobayashi, K. Sato, M. Samejima, and N.

- Komoda, “A Prediction-Based Scheduling Method for Dynamic Placement of Virtual Machines in Data Center”, in Proc. of 13th International Conference on Applications of Computer Engineering (ACE '14) pp. 19-24, 2014 (査読有)
- [3] 小林良至, 佐藤勝紀, 鮫島正樹, 薦田憲久, “分枝限定法によるリソース予測使用量に基づく仮想マシン動的配置高速計画方式”, 平成 26 年電気学会電子情報システム部門大会, PS3-1, pp. 1791-1792, 2014 (査読無)
- [4] H.T. Minh, 鮫島正樹, 薦田憲久, “A Restraint Usage Estimation Method of Server Resource for Peak Shaving in Data Center”, 電気学会第 59 回情報システム研究会, IS-14-23, pp. 53-58, 2014 (査読無)
- [5] M. Samejima, H.T. Minh, and N. Komoda, Flexible Peak Shaving in Data Center by Suppression of Application Resource Usage, in Proc. of 16th Int. Conf. on Enterprise Information Systems (ICEIS 2014), Vol. 2, pp. 355-360, 2014 (査読有)
- [6] K. Sato, M. Samejima, and N. Komoda, “Dynamic optimization of virtual machine placement by resource usage prediction”, in Proc. of 11th IEEE Int. Conf. on Industrial Informatics (INDIN 2013), pp. 86-91, 2013 (査読有)
- [7] 佐藤勝紀, 鮫島正樹, 薦田憲久, “リソース使用量の予測にもとづく仮想マシン配置の動的最適化”, 電気学会 情報システム研究会, IS-13-031, pp. 45-49, 2013 (査読無)
- [8] H. Ohno, M. Samejima, M. Akiyoshi, N. Komoda, and M. Yoshino, “An anomaly detection method on Web-based system by certification of structural change on autoregressive model”, in Proc. of 1st Asian Conf. on Information Systems (ACIS 2012), pp. 86-90, 2012 (査読有)
- [9] Y. Tsuda, N.N. Tan, M. Samejima, M. Akiyoshi, N. Komoda, and M. Yoshino, “An Anomaly Detection Method for Individual Service on Web-based System by Selection of Dummy Variables in Multiple Regression”, in Proc. of 2012 IEEE Int. Conf. on Systems, Man & Cybernetics (SMC 2012), pp. 1873-1877, 2012 (査読有).
- [10] 鮫島正樹, 薦田憲久, 吉野松樹, “耐障害・省電力運用のための Web システム構成管理”, 電気学会 情報システム研究会, IS-12-31, pp. 41-45, 2012 (査読無)
- [11] 大野宇宙, 鮫島正樹, 秋吉政徳, 薦田憲久, 吉野松樹, “自己回帰モデルの構造変化検定を用いた Web システムの異常検知方式”, 電気学会 情報システム研究会, IS-12-01, pp. 1-6, 2012 (査読無).
- [12] 津田祐輝, N.N. Tan, 鮫島正樹, 秋吉政徳, 薦田憲久, 吉野松樹, “重回帰分析のダミー変数選択による Web システムの業務別異常検知方式”, 電気学会 情報システム研究会, IS-12-02, pp. 7-12, 2012 (査読無)

6. 研究組織

(1)研究代表者

薦田 憲久 (NORIHISA KOMODA)
大阪大学・大学院情報科学研究科・教授
研究者番号：90234898

(2)研究分担者

鮫島 正樹 (SAMEJIMA MASAKI)
大阪大学・大学院情報科学研究科・助教
研究者番号：80564690