

平成22年 3月31日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2009

課題番号：19500061

研究課題名（和文） Web サーバクラスタにおける分散処理に関する研究

研究課題名（英文） A study of distributed processing for Web server clusters

研究代表者

稲井 寛（INAI HIROSHI）

岡山県立大学・情報工学部・教授

研究者番号：30203194

研究成果の概要（和文）：同一コンテンツを提供する複数の Web サーバ（Web サーバクラスタ）において、各サーバにかかる負荷を均一にして、効率的なシステム運用を実現する方式について研究した。本研究では、サーバ群の前段にロードバランサと呼ばれる専用のリクエスト振り分け装置を配備したシステムを対象としている。リクエスト振分方式の他、サーバクライアント間のコネクション管理に関する方式やサーバにおける優先処理方式についても検討した。

研究成果の概要（英文）：Arranging web servers in a row, called a web cluster, realizes a parallelized service to the clients. This study focuses on a system which employs a load-balancer in front of the server cluster. We propose an efficient request delivery method to aim at load balancing among servers. We also examine a management method of the connections between the server and clients, and a prioritized service method at the server.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
総計	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：情報通信工学

科研費の分科・細目：情報学、計算機システム・ネットワーク

キーワード：WWW、Web サーバ、負荷分散、ブラウザ、コネクション受付、keep-alive

1. 研究開始当初の背景

近年、インターネットでは WWW 技術を利用した様々なサービスが提供され、さらに、アクセス回線のブロードバンド化や低料金

化等の影響もあり、ユーザ数が急激に増加している。その結果、人気の高いサイトでは、ユーザからのページ閲覧のリクエストが集中することが多く、一台の Web サーバで全てのリクエストを処理することは困難とな

っている。その解決策として、同一コンテンツを提供する Web サーバを複数台設置して Web サーバクラスタを構築し、負荷を分散させることが試みられている。

Web サーバクラスタにおける負荷分散として、(1)ロードバランサと呼ばれる負荷分散の専用ハードウェアを設置すること、(2)DNS サーバに実装されている負荷分散機能である DNS ラウンドロビンを行うこと、(3)サーバ OS に負荷分散機能を実装することが考えられるが、それぞれに一長一短がある。これらの中で、本研究では、多様化するアプリケーションおよび OS 等に柔軟に対応可能で、様々な振り分け方式の実装が可能であることから、近年注目されている(1)のロードバランサを検討の対象とし、そこで行われるサーバ選択法について検討する。

2. 研究の目的

本研究では、Web サーバクラスタにロードバランサを導入して、各サーバにかかる負荷を分散させる方式を提案し、その有効性を定量的に明らかにする。

ロードバランサがリクエストを処理させるサーバを選択する方式は、静的な方式と動的な方式の二つに大別することができる。前者は、各サーバの負荷状態にかかわらず、事前に設定した順番または条件に従ってサーバを選択する。これに対して後者は、各サーバの負荷情報により、各サーバの負荷が均等になるように処理させるサーバを選択する。

静的負荷分散では、事前に決定された順番に従ってサーバを選択するラウンドロビンが有名である。しかし、ラウンドロビンでは、高負荷なサーバにリクエストを分配して、かえって性能を悪化させる危険性がある。一方、動的負荷分散は、サーバの負荷状態を考慮して低負荷なサーバを優先的に選択することができるため、静的負荷分散より適切なサーバ選択が可能となる。そこで、本研究においても動的負荷分散を検討の対象としている。

3. 研究の方法

(1) これまでの経緯

本研究グループでは、これまでに、ロードバランサにおける各種リクエスト振分方式の性能比較を行い、従来の動的な振分方式の問題点を明らかにしてきた。

各サーバの負荷情報が一定間隔で得られる場合、その間隔が小さいと、情報収集に関連するネットワークトラフィックやロードバランサの負荷の増加が問題となる。一方、そ

の間隔が大きいと、古い情報に基づいたサーバ選択を行うこととなり、システム全体の性能が低下する可能性が高くなる。この問題を解決するために、まず、取得した負荷情報により各サーバの負荷の差を判別し、その差を是正する。そして、各サーバの負荷の格差が是正されたと見なされる時点で、サーバ選択方式をラウンドロビンに切り替えるという方式を提案した。この方式により、負荷情報取得間隔が増加してもその影響を受けにくい安定した負荷分散を行うことが可能となった。

上述の定期的な負荷情報の収集は、根本的に、リアルタイムに負荷情報を取得することが困難であることに起因する。ロードバランサを通過するトラフィックをモニタすることにより、リアルタイムな負荷情報の取得も可能ではあるが、ロードバランサ自身の負荷が増大するという問題がある。そこで、本研究では、まず、通信内容の詳細な記録を参照することなく、各サーバの負荷を推定する方式の検討から始めることとした。

(2) 研究方法の概要

Web サーバクラスタにおいて効率的な負荷分散を行う方式について、様々な側面から検討し、その有効性を定量的に明らかにする。その際に、確率過程を基盤とする待ち行列モデルを構築し、そのモデルの解析またはシミュレーションを行う。具体的な成果は次章に述べるが、いずれの提案方式についても、基本的には、方式の改良→プログラム変更→数値計算またはシミュレーション実行・データ収集→結果分析→方式の改良→・・・というサイクルで研究を進める。

(3) 性能評価モデル

単一サーバで待ち行列長に制限のない待ち行列システムが複数並列に並んだものでサーバ群をモデル化した。サーバ群の前段にはリクエスト振り分けを行うロードバランサが配備されているが、簡単のため、ロードバランサにおける処理時間は無視できるほど短くと仮定している。したがって、ロードバランサは待ち行列モデルに陽に現れない。

各サーバは、リクエストを TSS により処理する。リクエストで指定されたファイルをディスクから読み出して、パケットに分割し、クライアントに向けて送信するという処理であるが、モデル化に必要なパラメータについては、市販のパソコンに Linux をインストールして計測した値を用いた。

クライアントは、ある時間間隔でリクエストを発生するものとしている。通常の利用形態では、クライアントはサーバに接続し、当

該サイトが提供する複数のページを閲覧する。このとき、クライアントは一ページ分の閲覧に要する時間経過後、次のページの閲覧を開始することになる。所望のページ閲覧が終了すると、切断して、サイトから退去する。

一つのページは、テキストファイルや画像ファイルなど複数のファイルから構成されていることが多い。したがって、クライアントがあるページの閲覧を開始すると、このとき、ロードバランサにはそのページに含まれる複数のファイルについて、各々の転送要求がバースト的に到着することになる。そこで、各クライアントからのリクエストがロードバランサにバースト到着するトラフィックモデルを考案した。

本研究で対象とした各方式の性能評価に焦点を当てるため、TCPが行っているウィンドウ制御は省略している。また、コネクション確立・開放に要する時間やネットワーク上の遅延は必要に応じてモデルに反映させている。

4. 研究成果

(1) Web サーバクラスタにおけるリクエスト振分方式

Web サーバクラスタにおいて理想的なリクエストの振り分けを実現する方式について検討した。到着したリクエストを負荷が最小となっているサーバに振り分けることにより、理想的な振り分けが可能となるが、これを実現するためにはサーバの負荷を正確に見積もる必要がある。従来の方式では、各サーバから定期的に負荷情報を収集する方法や、接続コネクション数や転送されたパケット数から各サーバ負荷を推定する手法が研究されてきた。しかし、前者の手法では負荷情報に時間的遅れが生じること、また、後者の手法では推定値の誤差が大きくなるのが問題となっていた。これに対して、本研究では、サーバの処理時間がファイルサイズに比例することを利用して、リクエストされたファイルの大きさと当該リクエストを割り振った時刻から各サーバの負荷を比較的正確に推定する手法を提案し、その有効性を明らかにした。

(2) Web サーバにおけるコネクション受付制御方式

応答時間の低減を実現しつつ、可能な限り多くの新規ユーザを受け付けるために、Webサーバにおけるコネクション受付制御方式について検討した。ブラウザはファイルのダウンロード時間を短縮するため、サーバとの

間に複数のコネクションを確立し、並列ダウンロードを行っている。一方、サーバは過負荷防止のため、受付コネクション数に上限を設定している。したがって、一ユーザからの複数コネクションを全て受け付けてしまうと、同時接続可能なユーザ数は減少し、新規ユーザの接続が棄却される確率（棄却率）が大きくなる。そこで、ユーザ数が少ない時は各ユーザからの複数コネクションを受け付け、ユーザ数が多くなると以降の新規ユーザについてはコネクションを一本ずつに制限する受付制御方式を提案し、その有効性を明らかにした。

(3) クライアント側からのコネクション切断方式

多くのページは複数のファイルで構成されている。そのようなページをダウンロードする際にファイルごとにコネクションを確立・開放すると効率が低下する。そこで、サーバには一つのコネクションで連続的に複数のファイル処理を受け付ける持続的接続が実装されている。まず、持続的接続のパラメータである keep-alive（データ伝送後もコネクションを持続させる期間）について検討した。シミュレーションの結果、keep-aliveの適切な値の範囲には数秒程度の余裕があることを確認した。

そして、さらなる効率の向上を図るため、クライアント側の協力を得て、Webサーバの処理の効率化を図る方式について検討した。効率的なダウンロードを実現するために、サーバに実装されている持続型接続により、実際には処理が終了しているが接続されたままになっているコネクションをクライアント側から切断することによって、稼働していないコネクションがサーバの資源を浪費することを防止する方式を提案し、その有効性を明らかにした。従来は、サーバ側からコネクションが切断されていたため、無駄なコネクションの発生を防止することができなかったが、提案方式により、この問題に対する一つの解決策が示された。

(4) Web サーバにおける優先処理方式

Webサーバで優先処理を行って、受け付けるクライアント数を増加させる方式について検討した。一般に、一つのページは複数のファイルで構成されているため、それぞれのファイルに記載された情報の重要度には、自ずと差が存在すると考えられる。そこで、サーバ側であらかじめファイルの重要度を設定しておき、サーバの負荷が高くなったときに重要度の高いファイルの処理を優先する方式を考案した。これにより、サーバに高負

荷がかかっている場合には、優先度の低いファイルが処理されず、ブラウザには一部の情報が欠落したページが表示されることになるが、サーバへの負荷を一時的に減少させることができるため、より多くのクライアントからの接続を受け付けることが可能となる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 21 件)

- ① 佐藤 彰洋、佐竹 伸介、稲井 寛、Web サービスにおけるクライアント側からのコネクション切断方式、査読有、電気学会論文誌 C、Vol. 129、No. 11、pp. 2004-2013、2009. 11
- ② 黒江 明弘、稲井 寛、高負荷時 Web サーバにおけるリクエスト優先処理方式、査読無、電子情報通信学会技術研究報告、Vol. 109、No. 299、pp. 1-6、2009. 11
- ③ 佐藤 彰洋、佐竹 伸介、稲井 寛、Web サービスでのクライアントによるコネクション切断方式、査読無、電子情報通信学会技術研究報告、Vol. 108、No. 409、pp. 107-112、2009. 1
- ④ 佐竹 伸介、稲井 寛、荒井 剛、Web サーバクラスタにおけるファイルサイズを利用したサーバ負荷推定の効果、査読有、電気学会論文誌 C、Vol. 128、No. 10、pp. 1543-1549、2008. 10
- ⑤ 佐藤 彰洋、佐竹 伸介、稲井 寛、Web サーバの keep-alive 時間に関する考察、査読無、電子情報通信学会技術研究報告、Vol. 107、No. 423、pp. 125-130、2008. 1
- ⑥ 佐竹 伸介、稲井 寛、荒井 剛、Web サーバシステムにおけるコネクション受付制御方式、査読無、電子情報通信学会技術研究報告、Vol. 107、No. 403、pp. 37-42、2007. 12

[学会発表] (計 39 件)

- ① 黒江 明弘、稲井 寛、高負荷時 Web サーバにおけるリクエスト優先処理方式、第 11 回 IEEE 広島支部学生シンポジウム、C-22、2009. 11
- ② 黒江 明弘、稲井 寛、Web サーバにおけるリクエスト廃棄方式、電気・情報関連学会中国支部平成 21 年度第 60 回連合大会、21-15、2009. 10
- ③ 佐藤 彰洋、佐竹 伸介、稲井 寛、Web サービスにおけるクライアント側からのコネクション切断方式、平成 20 年電気関係学会関西支部連合大会、G8-7、2008. 11

- ④ 佐藤 彰洋、佐竹 伸介、稲井 寛、Web サービスにおけるクライアント側からのコネクション切断方式の提案、電気・情報関連学会中国支部平成 20 年度第 59 回連合大会、21-2、2008. 10
- ⑤ 佐藤 彰洋、佐竹 伸介、稲井 寛、Web サーバクラスタにおける keep-alive 時間の影響、平成 19 年電気関係学会関西支部連合大会、G8-11、2007. 11
- ⑥ 佐竹 伸介、稲井 寛、荒井 剛、Web サーバシステムにおけるコネクション受付制御方式、平成 19 年電気関係学会関西支部連合大会、G8-12、2007. 11
- ⑦ 佐藤 彰洋、佐竹 伸介、稲井 寛、Web サーバクラスタにおける keep-alive 時間の影響、電気・情報関連学会中国支部平成 19 年度第 58 回連合大会、21-19、2007. 10

[その他]

ホームページ等

<http://peach.c.oka-pu.ac.jp>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

稲井 寛 (INAI HIROSHI)
岡山県立大学・情報工学部・教授
研究者番号：30203194

(2) 研究分担者

若林 秀昭 (WAKABAYASHI HIDEAKI)
岡山県立大学・情報工学部・准教授
研究者番号：30264906

荒井 剛 (ARAI TSUYOSHI)
岡山県立大学・情報工学部・助教
研究者番号：40382361

(3) 研究協力者

佐竹 伸介 (SATAKE SHINSUKE)
岡山県立大学・大学院情報系工学研究科・博士後期課程学生 (2007 年度)

佐藤 彰洋 (SATO AKIHIRO)
岡山県立大学・大学院情報系工学研究科・博士前期課程学生 (2007~2008 年度)

黒江 明弘 (KUROE AKIHIRO)
岡山県立大学・大学院情報系工学研究科・博士前期課程学生 (2008~2009 年度)