

トランスポート層のフロー解析による WWWサーバのサービス品質計測手法

斉藤 裕樹

東京電機大学 工学部 情報メディア学科

hsaito@im.dendai.ac.jp

概要

World Wide Web (WWW) 技術は急速に社会に普及し社会生活に重要なサービスが次々実用化されている。しかし、トラフィックの増加でネットワークやサーバが混雑し、WWW ページが表示されるのに時間がかかる、サーバが応答しないなどのサービス品質上の問題が顕在化している。本論文では、利用者の視点での WWW システムの利便性を確保するためのサービス品質について論じ、トランスポート層でのフロー解析に基づくサービス品質計測手法を提案する。提案手法は、HTTP の通信フローから得られる経過時間に関する指標と TCP の動作状況をサーバ上で計測することで、利用者の感じる応答時間とサーバシステムを構成するリソースの能力を計測するものである。本手法は、実際に動作している WWW サーバシステムに対して適用が可能である。

Quality Measurement for WWW Servers by Transport Layer Analysis

Hiroki Saito

Department of Information Systems and Multimedia Design,
School of Engineering, Tokyo Denki University

Abstract

The World Wide Web (WWW) can be considered as a vital service in the Internet. The quality of a WWW service often plays an important role in its success or demise, and the quality management for the WWW systems is essential. This paper presents a framework for quality measurement in WWW servers through transport layer analysis. Our framework based on a model of TCP that quantifies the perceived response time in the clients and the server's resources performance. The quality indices are measured in the server side: time elaps in the HTTP communication flow and observation the TCP behavior. Our method is able to apply the WWW servers in operated.

1 はじめに

World Wide Web (WWW) 技術は急速に社会に普及し、エレクトロニック・コマース、企業の業務システムや電子政府など、社会生活に重要なサービスが次々と実用化されている。しかし一方では、トラフィックの増加でネットワークやサーバが混雑し、

WWW ページが表示されるのに時間がかかる、サーバが応答しないなどのサービス品質上の問題が顕在化している。

WWW サーバの管理者は利用者の利便性を確保するためにサーバシステムの品質を管理する必要がある。WWW サーバのサービス品質管理では、利用者から見たサーバの品質を知り、サーバシステムを構

成するリソースの能力を評価する必要がある。

WWW サーバの性能に関する研究開発は、サーバのチューニングやベンチマークといったサーバ単体の性能を高める技術 [1, 2, 3] から、サービス品質の保証や管理技術 [4, 5] に移りつつある。そのためには、サービス品質を正確に評価する技術が必要である。

しかしながら、従来行われてきたサーバのアクセス記録の解析、ネットワーク利用率の監視、ベンチマークといった方法では利用者の感じるサービス品質が考慮されていないためサービス品質計測に不十分である。利用者の感じるサービス品質を正確に計測するには、従来行われているサーバアプリケーションやネットワーク単体の性能ではなく、ネットワークやクライアントホストを含めたシステム全体を対象とした計測方式が求められている。

本論文では、サーバホストのトランスポート層の指標を計測することで、利用者からみたサービス品質の計測と、サーバシステムを構成するリソースの能力を評価する技術について検討する。

2 WWW システムのサービス品質管理

2.1 WWW システムのサービス品質

一般にネットワークシステムのサービス品質を良好に保つには、トラフィックとリソースの正常性が重要である。すなわち、トラフィックに対してリソースが少な過ぎたり、多過ぎたりしないということである。リソースが不足すればサービス品質が低下し、リソースが過剰であればコスト増につながる。このように、サービス品質に対してトラフィックとリソースは密接に関係している。

サービス品質はネットワークシステムの設計基本であり、サービス品質を客観的に表す指標が必要である。WWW システムにおいては、クライアントから情報を送信後サーバから応答情報を求めるような対話型アプリケーションであるため、応答時間を評価することが重要である。具体的には、応答時間とはクライアントがリクエストメッセージを送信後サーバからレスポンスメッセージを受信するまでの時間である。

次に、WWW サーバシステムのリソースの性能を

知る必要がある。性能とは、求められるサービス品質に対してシステムがどの程度の能力を有し、どの程度の負荷がかかるのかを示す指標である。システムはネットワーク、サーバホスト、クライアントホスト等のリソースから構成され、性能はリソースの能力と負荷との関係から決定される。このため、利用者からの要求に対してこれらのリソースの能力が十分であるか評価する必要がある。

2.2 従来のサービス品質計測技術

サービス品質の計測に関していくつかの技術が開発されてきた。以下に、従来のサービス品質計測技術とその問題点を示す。

分散品質モニタリング いくつかの企業は地理的に分散した測定ホストを設置し、モニタリングを行うことでサービス品質計測を行っている。モニタリングホストの位置が実際の利用者の位置とは異なる場合、計測値は不正確なものとなる。また、実際の利用者の利用パターンにあわせてモニタリング方式を設計する必要があるため、すべてのサービスや利用パターンに適用するのは困難である。

クライアントサイドスクリプティング WWW ページにサービス品質を計測するようなスクリプトを追加する方法である [5]。この方式では、タイムアウトやコネクション確立に失敗した場合のサービス品質が計測できない。また、計測対象が HTML のようなスクリプトの記述が可能なコンテンツに限られる。さらに、スクリプト実行機能のないブラウザでは計測が不可能である。

サーバアプリケーションのアクセス記録の解析

アクセス記録から、アクセス数、転送データ量やリクエストの処理時間を統計的に計算する方法である。しかし、アクセス記録から得られる内容はサーバ自体の性能であり、クライアントの性能やネットワーク回線に関する性能ではないため、実際にユーザが感じる性能とは隔たりがある。また、記録がアプリケーション固有の形式であり、アプリケーションごとに解析プログラムが個別に必要となる。

ベンチマーク これまで SPECweb[7], WebStone[8], ttcp などのいくつかのベンチマークツールが開発されてきた。

これらは定量的な性能計測が行える反面、実際の利用者の振る舞いや運用形態に適したベンチマーク条件を設定することが困難である。

ネットワーク上のパケットトレース ネットワークを流れるパケットをアナライザで解析する方法である [9]。しかし、高速なデータリンクですべてのパケットを観測し分析するには高い性能のアナライザが必要となり非現実的である。

ネットワーク利用率や遅延時間の測定 SNMP[15] を用いたネットワーク機器の遠隔監視として広く用いられている方法である。しかし、WWW サーバのサービス品質は、単一のリンク利用率や遅延だけではなく、ネットワーク層の特性、端末間のスループット、サーバホストやクライアントホストの性能などに大きく左右される。また、WWW システムで用いられている TCP の性能は、利用率や遅延に関わらずネットワーク層やアプリケーション層の特性によって悪化することが知られている [10]。

利用者へのヒアリング 実際に利用者へシステムの使用感をたずねる方法である。応答時間の利用者の利用感への影響を調査した研究 [11] 等があるが、正確な応答時間を求めるには不十分である。

以上から、利用者の感じるサービス品質を正確に計測するには、従来行われているサーバアプリケーションやネットワーク単体の性能ではなく、ネットワークやクライアントホストを含めたシステム全体を対象とした計測方式が必要であると考えられる。

3 トランスポート層のフロー解析によるサービス品質評価手法

3.1 サービス品質モデル

WWW サーバのサービス品質計測において重要なことは、まず、クライアントでの応答時間を測り、次に、システムを構成するリソースのどの部分がボ

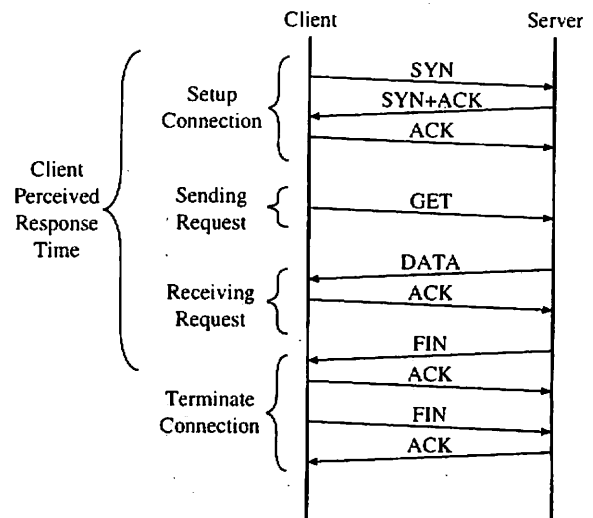


図 1: HTTP の通信フロー

トルネックになっているのかを特定することである。本節では、システムをサーバホスト、ネットワーク、クライアントホストの 3 つのリソースに分け、それぞれのリソースの能力が不足したときに、どのようなサービス品質低下が起こるのかを示し、サービス品質低下の原因となる現象をモデル化する。

まず、通常の HTTP での通信フローを図 1 に示す。ここでの通信手順を以下に示す。

1. クライアントはサーバに対して TCP コネクションを確立する。これは以下に示す 3 ウェイ・ハンドシェイクの手順を用いて行われる。
 - (a) クライアントからサーバに対して SYN セグメントが送信される
 - (b) サーバからクライアントへの返答として SYN+ACK セグメントが送信される
 - (c) クライアントからサーバに対して ACK セグメントが送信される
2. 確立された TCP コネクションに対して、クライアントからサーバに HTTP リクエストが送られる。
3. サーバでリクエストが処理される。
4. サーバからクライアントにコンテンツデータが送られる。

クライアントでの応答時間とは、図 1 中の「Client Perceived Time」で示された経過時間である。

次節で各リソースの能力不足を要因としたサービス品質悪化のモデルを示す。

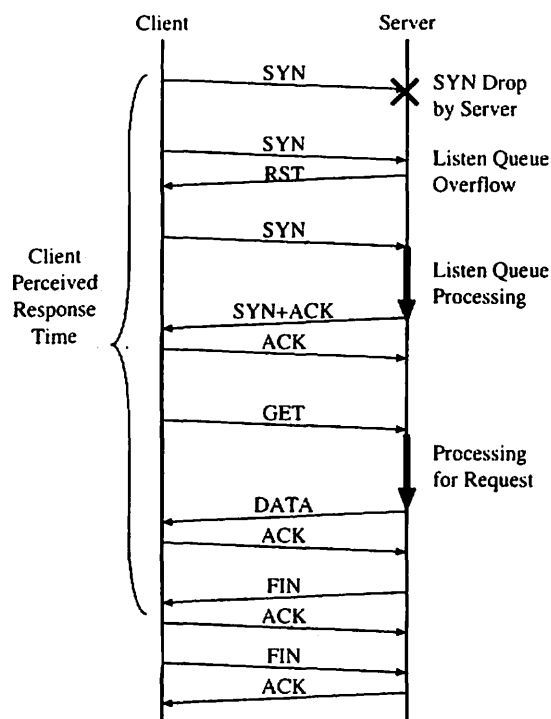


図 2: サーバホストがボトルネックになっている場合の通信フロー

3.1.1 サーバホストがボトルネックになっている場合

クライアントからのリクエスト数がサーバの処理能力を越えると、サーバホストの負荷が高まり、段階的に図 2 に示すような次の現象が発生する。

- サーバアプリケーションでのリクエストの処理に要する時間が増大する。
- コネクション確立要求に対する待ち行列があふれ、コネクションの確立が拒否される。具体的には、クライアントからサーバにコネクションを確立するために送られる SYN セグメントに対して、サーバが RST セグメントが返される。
- コネクション確立要求に対する待ち行列があふれ、サーバホストの負荷が非常に高い場合、クライアントからサーバに送られた SYN セグメントが無視される。

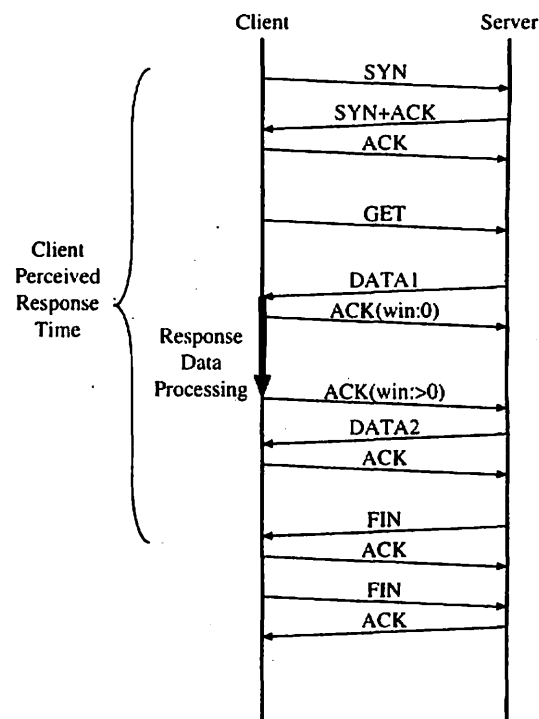


図 3: クライアントホストがボトルネックになっている場合の通信フロー

3.1.2 クライアントホストがボトルネックになっている場合

クライアントの負荷が高まり、サーバからのデータの受信に対してクライアントホストの処理能力が不足すると、受信バッファが満杯になり TCP のフロー制御が行なわれる。具体的には、図 3 に示すように、クライアントはサーバに対し受信ウィンドウサイズが 0 と報告する。これは、クライアントがこれ以上データを受け取れないことを示し、サーバからのデータの送信が一時停止される。

3.1.3 ネットワークがボトルネックになっている場合

ネットワークの帯域が不足し、混雑などでパケットの喪失が起きますと、TCP の再送動作やふく饒回避が行われる。具体的には、図 4 に示すように、喪失したセグメントの再送が行われ、さらに送信元の送信ウィンドウサイズが減らされデータ送信速度が減じられる。

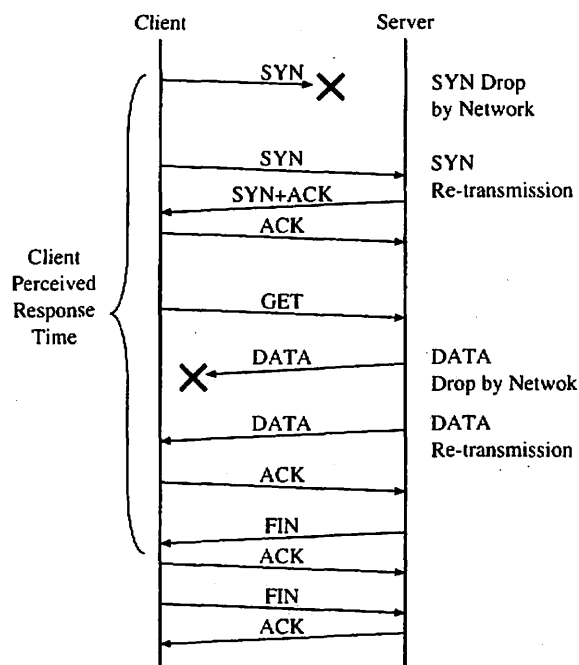


図 4: ネットワークがボトルネックになっている場合の通信フロー

3.2 サービス品質評価指標

3.1 節で示したように、サービス品質の悪化要因は TCP の動作を計測することにより可能であると考えられる。本研究では、TCP での性能指標を計測することによりサービス品質を評価することを検討する。

HTTP の通信フローを基にした TCP における性能指標を図 5 に示す。これにより計測されるサービス品質の評価指標を示す。

- **トランザクション時間 ($T_0 \sim T_5$)**
クライアントからコネクション確立要求である SYN セグメントの送信から、コネクション終了の FIN セグメントの送信までに要した時間である。これは、クライアントでの応答時間に最も近い値である。
- **コネクション確立時間 ($T_0 \sim T_1$)**
コネクションを確立するために要した時間である。ネットワークの能力およびサーバの能力を示す指標である。
- **リクエストデータ転送時間 ($T_2 \sim T_3$)**
サーバがクライアントからリクエストデータを受信するのに要した時間である。ネットワークの能力を示す指標である。

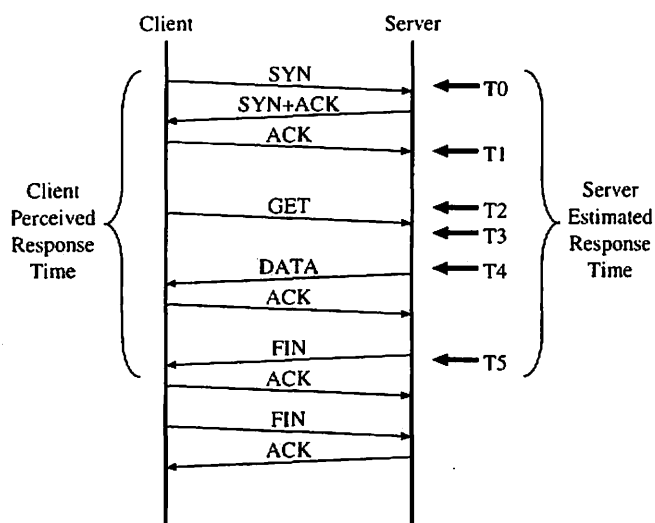


図 5: サービス品質評価指標

- **リクエスト処理時間 ($T_3 \sim T_4$)**
サーバアプリケーションがクライアントからのリクエストを処理するのに要した時間。ネットワークの能力を示す指標である。
- **レスポンスデータ転送時間 ($T_4 \sim T_5$)**
サーバがクライアントに対してコンテンツを送信するのに要した時間である。ネットワークの能力を示す指標である。
- **コネクション受付率**
クライアントからのコネクション確立要求数に対するサーバのコネクション受け付け数の割合である。コネクション受付率が低下した場合、サーバホストがボトルネックになっている。
- **送信バッファ使用率**
サーバがクライアントにデータを送信するためのバッファサイズに対する、バッファ中に存在するデータのサイズである。バッファに送信待ちのデータが滞留する場合、ネットワークがボトルネックになっている。逆に常にバッファが空の場合、サーバアプリケーションがボトルネックになっている。
- **受信バッファ使用率**
サーバがクライアントからのデータを受信するためのバッファサイズに対する、バッファ中に存在するデータのサイズである。バッファにアプリケーションでの処理待ちのデータが滞

留する場合、サーバアプリケーションがボトルネックになっている。逆に常にバッファが空の場合、ネットワークがボトルネックになっている。

4 サービス品質評価システムの開発

これまで述べてきたようなサービス品質評価原理に基づく計測システムを開発中である。

Apache HTTP サーバを拡張したシステムコールレベルでの測定部分、OS 内のトランスポート層での測定部分および、これらからの測定データを収集し解析する独立したアプリケーションの 3 つのシステムに分割して開発している。

5 おわりに

本論文では、WWW システムの利便性を確保するためのサービス品質について論じ、利用者からみたサービス品質を確保するためにトランスポート層の指標を用いたサービス品質評価手法を提案した。提案手法は、HTTP の通信フローから得られる経過時間に関する指標と TCP の動作状況を計測することで、利用者の感じる応答時間とサーバシステムを構成するリソースの能力を計測するものである。

今後は、サービス品質評価システムの実装を行い、実際に動作している WWW サーバに適用し有効性を確認する。

参考文献

- [1] H. F. Nielsen, J. Gettys, A. Baird-Smith, E. Prud'hommeaux, H. W. Lie and C. Lilley: Network Performance Effects of HTTP/1.1, CSS1, and PNG, ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 27(4), pp.155-166 (1997).
- [2] E. Nahum, T. Barzilai and D. Kandlur: Performance Issues in WWW Servers, ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review, 27(1), pp.216-227 (1999).
- [3] P. Barford and M. Crovella: A Performance Evaluation of Hyper Text Transfer Protocols, ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review, 27(1), pp.188-197 (1999).
- [4] X. Chen, P. Krishnamurthy, and H. Chen: An Admission Control Scheme for Predictable Server Response Time for Web Access, Proceedings of the 10th International World Wide Web Conference, pp.545-554 (2001).
- [5] V. Kanodia and E. Knightly: Multi-Class Latency-Bounded Web Services, Proceedings of IEEE/IFIP IWQoS Conference 2000 (2000).
- [6] R. Rajamony and M. Elnozahy: Measuring Client-Perceived Response Time on the WWW, Proceedings of the 3rd USENIX Symposium on Internet Technologies and Systems Conference (2001).
- [7] SPECweb99 Benchmark, Standard Performance Evaluation Corporation, <http://www.spec.org/osg/web99/>.
- [8] WebStone: The Benchmark for Web Servers, <http://www.mindcraft.com/benchmarks/webstone/>.
- [9] Y. Nakamura, K. Chinen, H. Sunahara, S. Yamaguchi, and Y. Oie: ENMA: The WWW server Performance Measurement System via Packet Monitoring, Proceedings of INET'99, Internet Society (1999).
- [10] F. D. Smith, F. H. Campos, K. Jeffay and D. Ott: What TCP/IP Protocol Headers Can Tell Us About the Web, ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review, 29(1), pp.245-256 (2001).
- [11] Jacko, J.A., Sears, A. and Borella, M.S.: The effect of network delay and media on user perceptions of web resources, Behaviour & Information Technology, Vol. 19, No. 6, pp.427-439 (2000).
- [12] M. Allman: A Web Server's View of the Transport Layer, ACM Computer Communication Review, 30(4), pp.133-142 (2000).
- [13] R. Fielding, J. Getty, J. Mogul, H. Frystyk, and T. Berners-Lee: Hyper Text Transfer Protocol — HTTP/1.1, RFC2068 (1997).
- [14] D. P. Olshefski, J. Nieh and D. Agrawal: Inferring Client Response Time at the Web Server, Proceedings of ACM SIGMETRICS 2002 (2002).
- [15] A. Leinwand, and K. F. Conroy, Network Management: A Practical Perspective, Second Edition, Addison-Wesley (1996).