

# IP ネットワークにおけるサービス品質解析方式

勝山 恒 男<sup>†</sup> 高橋 英 一<sup>†</sup> 田村 直 広<sup>††</sup>  
小谷野 修<sup>††</sup> 安達 基 光<sup>†</sup> 石橋 宏 司<sup>††</sup>

インターネットの社会浸透にともない、総通信量は年率 5 倍程度の伸びを示しており、稼働率はもとより、応答時間等の品質面でも、いっそうの厳しい要求が課せられつつある。このような社会基盤としての IP ネットワークを構築するうえで不可欠となるのが、サービス品質の管理である。随時、品質評価を行いながら、所望の品質からの逸脱やその原因をいち早く解析し、効率的にネットワーク資源を使いつつ、品質劣化を未然に防止することが期待される。これを実現する手段として、シミュレーションによる品質解析がある。本論文では、最も代表的な IP サービスである Web サービスを対象としたシミュレーションによる品質解析法の提案を行う。随時の品質評価解析を行うには、高負荷時の複雑な挙動シミュレーションの正確さや高い精度よりは、ネットワーク諸量の計測や MIB 取得で得られる情報の範囲内でシミュレーションを行うことが重要と考えられる。この考えの下に、シミュレーション解析手法を開発した。特に、ネットワークの主要構成要素であるルータ、サーバの動作を実験的に分析し、モデル化した。本方式を実用に供されているイントラネットで試行評価した。また、ホップ数は 4 段と小規模ではあるが、実験網により、実測とシミュレーション結果との比較評価を行い、よく一致することを示した。

## Service Level Analysis for IP Networks

TSUNEO KATSUYAMA,<sup>†</sup> EIICHI TAKAHASHI,<sup>†</sup> NAOHIRO TAMURA,<sup>††</sup>  
OSAMU KOYANO,<sup>††</sup> MOTOMITSU ADACHI<sup>†</sup> and KOUJI ISHIBASHI<sup>††</sup>

As the Internet is infiltrating the society, the amount of a total communication shows about five times growth in the annual rate, and a further severe demand is being imposed on the quality side. What indispensability to construct the IP networks for a present society is the controlling the service quality. It is expected to prevent fatal quality deterioration beforehand with a prompt analytical evaluation of deviation from the quality of the desire or the causes by evaluating the quality at any time. In this paper, we propose the quality evaluation technique by the simulation. It is important to simulate the quality evaluation technique within the range of information that is obtained from the MIB information acquisition and the measurement of network devices performance data. Based on this, we have developed the simulation analysis technique, especially, analyzed the operation of the routers and the servers which were main components of the networks, and modeled it. Moreover, we evaluated the comparison of the measurement and the simulation results, and it indicates the tolerable agreement in the range of the experiment.

### 1. ま え が き

企業等での日常の経済活動においてインターネット利用が急速に進展しており、さらには、携帯電話によるメールや Web サービスの普及も著しい。今後のサービスとして電子行政サービスも注目を集めている。総通信量も年率 3~5 倍程度の伸びを示しており、十二分な社会基盤になったといえる。それにともない、稼働率や応答時間等の品質面では、いっそうの厳しい要

求が課せられつつある。このような社会基盤としての IP ネットワークを構築するうえで不可欠となるのが、効率的なネットワーク資源活用と品質維持を両立させるサービス品質管理である。

特に、ますます増大する IP ネットワークの社会的重要性を考えると、サービス品質劣化を事前に予測して、このような事態を避ける管理方法、すなわち、プロアクティブな管理が求められる。このためには、図 1 に概念を示すように、常時、品質を計測し、これに基づいて、網全体でのサービス品質を解析評価し、さらに、品質劣化を避けるように動的な負荷制御、あるいは早期の網再設計を行う管理サイクルが必要である。このような流れを本論文では、「IP トラフィックマネジメン

<sup>†</sup> 株式会社富士通研究所  
Fujitsu Laboratories Ltd.

<sup>††</sup> 富士通株式会社  
Fujitsu Ltd.

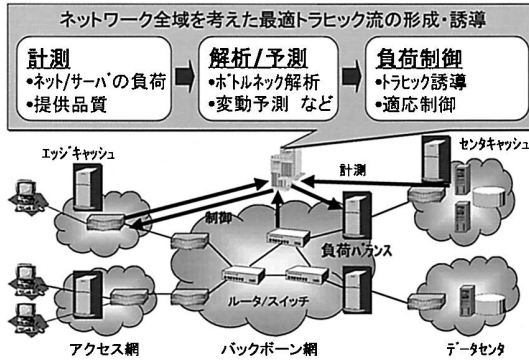


図1 IPトラフィックマネジメント  
Fig.1 IP traffic management.

ト」と呼ぶことにする。

トラフィックマネジメントの目的は、サービス品質が維持されるようにパケットの流れを制御し、さらに、サーバや伝送路等のネットワーク資源の利用効率を最大となるように制御し、経済的なサービス品質管理を行うことにある。具体的には、まず、各資源の利用効率、つまり負荷状況を計測し、また、提供されているサービス品質も同様に計測する。そのうえで、ネットワーク全体の負荷状況、たとえば、ボトルネック箇所の分析を行い、これに基づいて、品質維持や最適資源配備となるようにネットワーク全体のパケットの流れを制御することになる。

負荷量やサービス品質の計測技術には、大別して、計測専用のパケットを実際のサーバ等に送信するアクティブ計測手法と、ネットワーク機器においてユーザパケットの振舞い（応答時間等）を観測するパッシブ計測手法がある<sup>1),2)</sup>。後者の典型例は、保守プロトコル（SNMP）によって、ネットワーク機器のMIB情報を収集する方法であり、現状のネットワーク管理システムでは、この方法が中心である。各ネットワーク機器がすでに持っている機能を利用するため、実現性に問題はないが、収集情報からでは、必ずしもネットワークの状態を特定することができない場合もある。また、大規模ネットワークでは、解析処理に時間を要するため、サービス状況に即応した制御には適さない。

一方、アクティブ計測は、特定の目的、すなわち、特定のサーバまでの応答時間等に狙いを定めて計測を行うため、そのサーバ負荷量やそのサーバまでに至る全ルートの最小空き帯域という直接的な結果が得られる。たとえば、クライアント-サーバ間の特定ルート内の最小空き帯域を調べるC-ProbeやNEPRI方式<sup>3),4)</sup>では、数秒で誤差20%以下での計測が可能である。反面、このような手法では、単独でネットワーク全体の



図2 IPサービス品質の評価/予測システム  
Fig.2 IP Service level evaluation/prediction.

状態把握するには不十分である。実際には、計測用保守パケットの送信が部分的に制約される等の条件下での計測となるため、これらの手法を組み合わせることが現実的である。

トラフィックマネジメント実現のための第2の機能は、計測結果に基づくネットワーク全体のサービス品質の解析評価である<sup>5)</sup>。これには、主に理論的な解析手法とシミュレーションによる方法がある。図2には、シミュレーション技術によって解析する概念を示している。実ネットワークの接続形態を反映したシミュレーションモデルを計算機上に構築し、ユーザ情報の転送状況を模擬することにより、応答時間等のユーザへの提供サービス品質を知ることができる。現状のネットワーク状況（ボトルネック箇所の特定等）を行うばかりでなく、将来に想定されるユーザ数増加や、サーバ機器の増強等の条件下でのサービス品質変化を予測することもでき、先手を打ったネットワーク管理に有効である。

解析結果に基づいて、最終的には、ネットワーク機器を直接間接に制御するか、あるいは、品質を維持するようにネットワーク機器の増設を行う等のアクションをとることになる。ネットワーク制御を行う場合には、制御コマンド送付等の方法もあるが、トラフィックエンジニアリングの手法や、ポリシー型制御（Policy-based Management）の手法<sup>6)</sup>も重要である。

本論文では、これらの技術要素のうち、第2の評価解析手法について、その構成法を提案する。以下、2章では、サービス品質解析手法の概要を述べ、その課題を明らかにする。次いで、3章で、シミュレーションによる解析評価を行う提案方式を述べる。モデル化の考え、ならびに、各ネットワークモデルのパラメータ値の取得法を示す。4章では、提案手法を実ネットワークに適用した場合の評価結果を述べる。

## 2. サービス品質解析

### 2.1 評価手法の概要

評価解析の対象であるネットワークサービス品質としては、レスポンス時間とスループットが一般的である。特に、IP ネットワークの重要な応用である EC 等のコンシューマ利用では、レスポンス時間が非常に重要となる。そこで、以下では、サービス品質としてレスポンス時間に着目して議論する。

評価手法には、大別して、解析手法とシミュレーション手法がある<sup>7)</sup>。このほかに実際の要求負荷を発生させてその応答を分析する KeyNote<sup>8)</sup>等のベンチマーク手法もあるが、網全体の評価というよりは、外部からのサービス監視評価の側面が強い。品質レベルに対応した具体策を講じるためには、ネットワークの品質劣化要因の分析が必要であり、解析やシミュレーションが必要となる。

解析、シミュレーションの両手法の中では、大規模化する IP ネットワークの概略品質を即座に把握して、適切な対応をとる必要性が増大している状況を見ると、シミュレーション手法の適用範囲を拡充することが重要と考えられる。Capacity on Demand に代表されるようにサービス状況に応じて網制御を行うことが現実的になりつつあることを考えると、時々刻々変わりゆく IP 網サービス品質を計測監視し、これに基づくシミュレーション評価を行い、臨機応変に品質維持を図ることが期待される。

以上の議論をふまえ、以下では、サービス品質状況に即応して制御動作を行うことに有効なシミュレーション型の品質評価手法について議論を進める。また、評価対象サービスについては、現状のインターネットの中心的サービスである Web サービスを取り上げて議論する。

### 2.2 シミュレーション解析評価手法の一般構成

シミュレーション評価では、まず、評価対象となる IP ネットワークの網形状を知る必要がある。次いで、網を構成する各要素をモデル化し、さらに、各モデルの具体動作を規定するパケット処理時間等のパラメータ値を設定する。図 3 には、その例を示した。なお、図中の環境トラヒックについては 3.2 節で述べる。

最も基本的なシミュレーションモデルは、表 1 に示す各要素を実ネットワークに合わせて組み合わせたものとなる。現状のネットワーク管理システムの構成管理情報を活用することでほぼ自動生成が可能である。

シミュレーションでは、組合せ構成モデルの各種パラメータ値を決定して、要求トラヒックを発生させ Web リクエストのサービス時間を求める。Web サー

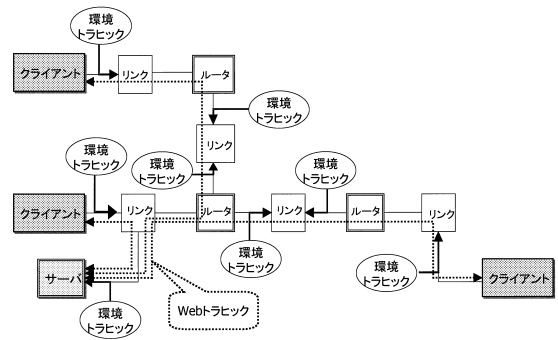


図 3 シミュレーションモデルの例  
Fig. 3 Example of simulation model.

表 1 シミュレーションモデルの構成要素  
Table 1 Components of simulation model.

要素	説明
ルータ	ルーティング処理にともなうパケット処理遅延を表す。
リンク	パケットが転送される伝送遅延を模擬する。伝送路への転送の待ち時間も評価対象となる。
サーバ	Web サーバにおける Web サービスを、パケット送受信レベルでシミュレートし、パケット受信から応答パケット送信までの時間を模擬する。
クライアント	関連する各クライアントの動作を表し、Web リクエスト (パケット) の発生、サーバモデルとのパケット送受信を模擬する。このパケットはクライアント、サーバ間のルータ、伝送リンクを伝播する。

ビスのレスポンス時間は、クライアントとサーバ間を往復するパケットの各要素での消費時間 (通過時間) の総和となる。

### 2.3 シミュレーション評価手法の課題

自由独立なネットワークの集合体であるインターネットでは、たとえイントラネットであっても、各構成要素の処理能力値等の細部までは詳細には管理されていないことが多い。また、各要素の処理能力等の固有値を事前に把握していたとしても、現場での機器更改によって、実際の構成と合わなくなることも予想される。したがって、動作中のネットワークから処理能力値等を直接収集できることが望ましい。

## 3. 品質解析シミュレータの提案

### 3.1 着目点

前章で述べた課題に対して、最も解析評価したい点は、大きく目標品質を逸脱してパケットが複雑な振舞いをする状態の解析ではなく、正常にパケット転送される状況や、これを多少逸脱した程度の状態を知ることである点に着目した。この場合、サーバ等の各要素

のトラフィックモデルはさほど複雑なものは要求されず、処理能力値の計測等によって、各要素のパラメータ値を得られる可能性がある。そこで、ネットワーク計測結果や一般的なネットワーク管理システムの持つポートロジ情報を活用して、モデル形成と解析を行いうる手法を開発した。

### 3.2 モデル化

本節では、提案手法における各構成要素のモデル化の考え方を述べる。構成要素は、ルータ、リンク、サーバ、クライアントとする。なお、クライアントは、ポアソン分布等の評価条件に応じた確率分布でサービス要求を発生するモデルであるので、ここでは詳述しない。

評価対象は、Web サーバへのアクセス時の応答時間である。このとき、評価対象クライアントが受容するパケットの応答時間に影響を与える他のパケットも含めたシミュレーションが必要となる。ここで、評価対象に影響を与えるトラフィックを「環境トラフィック」と呼ぶことにする。この関係を概念的に図 3 に示した。つまり、評価対象外のサーバやクライアントから受発信されるパケットが作り出すトラフィックが環境トラフィックとなる。このトラフィックは、評価対象ではないので、詳細解析の必要はない。そこで、対象外の複数クライアントやサーバをまとめて扱い、総和トラフィックとして評価ルートに印加されるものとした。また、評価対象ルート以外の部分の詳細評価も行わないこととして、シミュレーション計算量削減を図った。これによる誤差は、実験により評価することにする。なお、環境トラフィック量は、シミュレーションに先立って、マネジメントシステム等から収集するものと考えた。収集したトラフィック量を、複数クライアントをまとめたことに相当するクライアントから発生させることにする。環境トラフィックの除去は、ルータにおいて関連パケットを廃棄することで行う。

#### 3.2.1 ルータ

ルータモデルでは、パケットのルーティング処理による遅延をシミュレートする。1 パケットのルーティング処理時間は、パケットサイズとは関係なくすべて同一と考えられる。そこで、ルータモデルは、図 4 に示すように、以下の 2 要素で構成されるものと考えた。

- ルーティング処理：パケットを転送すべき伝送リンクを決定し、また、非評価対象である環境トラフィックパケットを破棄する処理装置
- キュー：ルーティング処理を行う資源が空くのを待つための待ち行列

#### 3.2.2 リンク

クライアントや、ルータ、サーバ間を結合するリン

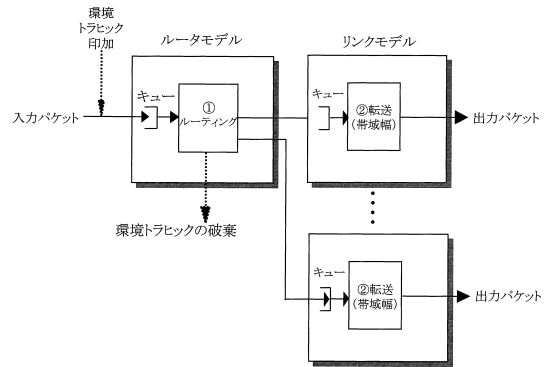


図 4 ルータおよびリンクのモデル化

Fig. 4 Model of router and link.

クモデルは、パケットが伝送路等を転送する時間をシミュレートする。同じく図 4 に示すように、以下の 2 構成要素を考えた。

- 転送処理：パケットがリンクを通過する際に消費される時間をシミュレートする。伝送帯域幅とパケットサイズとの関係で求める。ルータの転送処理もこの中に含めて考えた。
- キュー：転送処理を行う資源が空くのを待つための待ち行列

#### 3.2.3 サーバ

サーバモデルでは、Web サービスを要求する接続開始要求パケット受信から、所望の全 Web データを送信するパケット群の送出終了までの全処理をモデル化する。

まず、Web サービスの機能構成を、以下の 3 処理からなるものと考えた。

- 接続要求の受付処理（以下、接続処理と呼ぶ）
- HTTP コマンドの解析、CGI 処理も含む実行処理（以下、内部処理と呼ぶ）
- Web 情報のロード処理とネットワーク転送処理（以下、あわせて転送処理と呼ぶ）

これらの処理時間は基本的には、データを送信するために必要な伝送能力に依存するネットワーク資源と上述の各処理を実行する CPU 資源によって決まる。つまり、処理時間は、ネットワーク資源と CPU 資源のそれぞれの待ち行列でシミュレートできる。そこで、両資源での処理の待ち行列の関係について、以下に分析考察した。

まず、CPU リソースの各処理への関わり方を分析することを目的として、サーバへの CGI 負荷を増減

2 から 1,000 までの素数の数をカウントし、その結果を返す CGI。

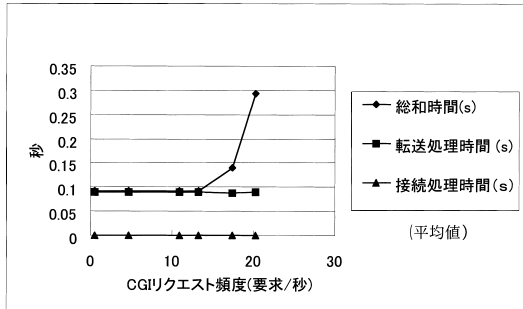


図5 CPU 負荷のサービス時間への影響

Fig. 5 Relation between CPU load and service time.

して、100 KB のページからなる Web サービス時間を実測した。図 5 に、サービス時間を、上述の 3 処理の総和時間と、転送処理時間、接続処理時間の各個別処理時間に分けて示した。横軸は秒あたりの CGI 要求頻度、縦軸は平均時間である。総和時間はオープンからクローズ (connection 開始から close 終了) まで、転送時間はサーバからの最初のデータ送信から最後のデータ受信まで、接続時間はオープン開始からオープン終了まで (connection 処理) の時間である。クライアントとサーバは 100 Mbps スイッチで接続し、CGI アクセスとページロード以外のトラフィックはない状態での実測結果である。

総和時間は CGI アクセス回数の増加、つまり CGI 負荷の増加にともなって長くなるが、転送時間と接続時間にはほとんど変化がみられない。したがって、CGI 負荷の影響を強く受けているのは、全体処理から転送と接続処理を除いた時間、つまり、内部処理時間だけであると推測できる。

さらに、200 KB のページロードについて、CGI 負荷をかけたとき (load high) とかけないとき (load low) のロード時間を TCP レベルで測定した結果を、転送の経過時間の形で図 6 に示す。横軸は、転送したバイトサイズで、縦軸は GET コマンド送信からの経過時間を示す。図 5 の条件と同じく、クライアント-サーバ間は 100 Mbps スイッチで接続し、CGI アクセスとページロード以外のトラフィックはない。

CGI 負荷の有無に関係なく、処理時間の傾向はほぼ同じである。違いは読み込み 0 バイトの経過時間、つまり、内部処理時間である。これは GET コマンド送信からサーバの ack 受信までの時間で、実験環境では経路の影響を無視できるので、サーバ内部での GET

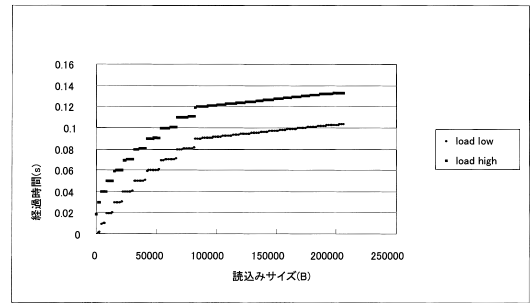


図6 CPU 負荷のデータ転送への影響

Fig. 6 Data transfer time and CPU load.

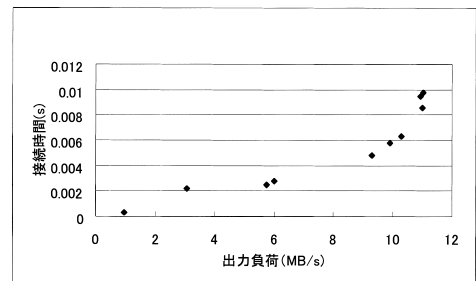


図7 出力負荷の接続時間への影響

Fig. 7 Connection time and transmission load.

コマンド処理時間に相当する。また、ほぼ連続している部分はクライアントからの ack 送信後のサーバのデータ送信であることをパケットダンプ結果から確認している。CGI 負荷が、内部処理時間のみ影響することがここでもはっきりした。

次に、接続時間と転送時間の相関について分析した。そこで、転送負荷を増減したときの接続時間への影響を測定した。結果を図 7 に示す。様々なサイズのページを様々な頻度でアクセスしたときの接続時間である。CGI 負荷はない。

横軸はサーバの出力負荷 (単位時間あたりの出力バイト数)、縦軸は接続時間の平均を示す。接続時間が、転送負荷の上昇にともない増加することが分かる。接続処理は CPU 資源とネットワーク資源を使う。接続処理は、CGI 等の内部処理よりは優先度が高い処理であり、カーネル実行で定型処理であるため、CPU 資源使用時間はほぼ一定である。図 5 の CGI 負荷と接続時間の結果でも、これが表れている。これらのことから、接続時間の増加の原因は、データ送出にあたってのクライアントとの通信量増加の影響と考えられる。つまり、ネットワーク資源では、接続処理とデータ送

2 から 10,000 までの素数の数をカウントし、その結果を返す CGI を 10 プロセスがアクセス。

ここでは Web サービス処理のみを考えている。一般にはメモリ不足によるスワップ処理等が生じ定型処理とはいえない。

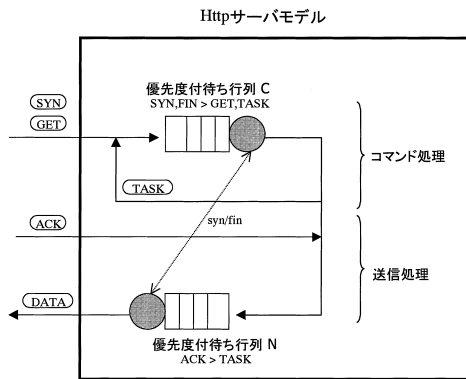


図 8 サーバのモデル化  
Fig. 8 Model of server.

出処理が混在しており、両者ともにカーネル実行であることから、上の結果はデータ送信処理中、接続処理が待たされたものと推測できる。

以上の結果から、次のことがいえる。

- 内部処理は、並列に処理されている他の内部処理（CGI 処理等）で待たされる。
- 接続処理と転送処理は、内部処理の影響を実質的には受けない。
- 接続処理は、並行している他のクライアントへのデータ送信処理の影響を受ける。

そこで、サーバモデルの構成を図 8 のように考えた。まず、本モデルは、CPU 資源とネットワーク資源を代表する 2 つの待ち行列 C, N からなる。

待ち行列 C

待ち行列 C は、CPU の内部処理をシミュレートし、フィードバックを持っている。フィードバックは OS による TASK の時分割処理をシミュレートするためであり、OS の振舞いについての一般的な解釈から導入した。一般に OS の Quantum 時間は 100 ミリ秒程度である。接続処理では 100 ミリ秒以上かかるケースはないと考えられるので、時分割処理は内部処理のシミュレートにのみ意味を持つ。シミュレータは、GET コマンドが CPU 資源を消費する総時間を、複数の Quantum 時間で処理するように動作する。つまり、待ち行列 1 回の処理で、使用総時間に達しなければこのタスクは再び行列 C につながる。以降、使用時間合計が使用総時間に達するまで、待ちと CPU 資源使用を繰り返すことで CGI 処理および GET 処理等の内部処理をシミュレートする。

また、シミュレータは、接続要求パケット SYN を優先処理することとして、接続処理が内部負荷の影響を受けない性質をモデル化した。なお、転送処理の影響を受けることを表すために、行列 C だけでなく、後述

の行列 N も一定時間使用することとした。つまり、接続処理（TCP コネクション確立制御）では、SYN パケットに対し、オープン時間だけ資源を占有した後、ACK を待ち行列 N へ出す。

待ち行列 N

待ち行列 N は、ネットワーク資源に相当し、データ送信処理をシミュレートする。待ち行列 N は、行列 C の処理結果 TASK と、クライアントからの ACK を受けて動作する。ACK を直接行列 N へ入力しているのは、転送処理が CGI 負荷すなわち待ち行列 C の影響を受けないことからである。

リソース N の使用時間を決定するためには、サーバの送信速度と送信サイズが必要である。そこで、スロースタートとスライディングウィンドウをシミュレートした。最初の送信時にクライアントへ送る転送ファイルサイズを送信総サイズとして設定し、送信サイズが送信総サイズに達するまで、TCP バルクデータフロー動作をシミュレートする。なお、輻輳ウィンドウサイズを決定する機能には他に輻輳回避アルゴリズムがあるが、3.1 節でも述べたように、シミュレーション評価の主目的が、輻輳状態に至る前段階の詳細解析であり、高負荷状態の詳細解析までは求められないことから、パケット損失には対応する必要はないものと考えた。

### 3.3 パラメータ値の取得

本節では、前節で述べた各モデルの具体動作を表す各パラメータ値の取得方法について述べる。

ルータ、リンク

必要となるパラメータ値は、ルーティング処理時間と転送帯域幅である。これらは、基本的に、計測用サーバから、パケット長  $L$  バイトの ICMP Echo パケットを送出して、そのルータから ICMP 応答パケットが戻ってくるまでの往復遅延時間 RTT から求める。この考え方を図 9 に示した。つまり、ルータ  $i+1$  への RTT から、ルータ  $i$  への RTT を引くことで、ルータ  $i$  のルーティング処理時間や、ルータ  $i$  と  $i+1$  間のリンクの転送時間を求めることができる。

ただし、この方法では、計測パケット以外のパケットの影響を受けるので、複数回計測してその最小値を処理時間とする。さらに、パケット長  $L$  を変えて複数計測し、 $L$  の固定分として、パケットサイズ依存がないルーティング処理時間を、また、 $L$  の比例分として、帯域依存である転送時間を求める。なお、帯域計測については、B-Probe 等の方法も知られており、また、MIB 情報からも求められる。いずれの方法でもよい。

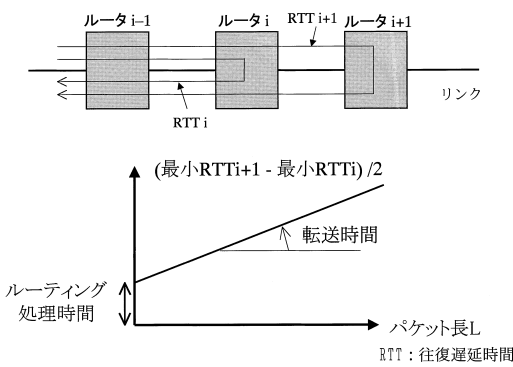


図9 ルータ、リンクのパラメータ値の求め方

Fig. 9 Parameters on router and link.

## サーバ

3.2.3 項で述べたサーバモデルのパラメータは次のとおりである。

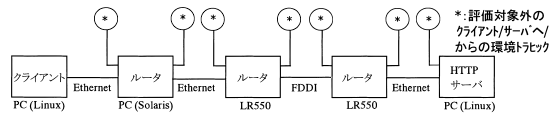
- 内部処理のための CPU 使用時間  
1 リクエストの処理に要する時間
- 転送ファイルサイズ  
1 リクエストあたりのサーバの送信データサイズ

### 【CPU 使用時間】

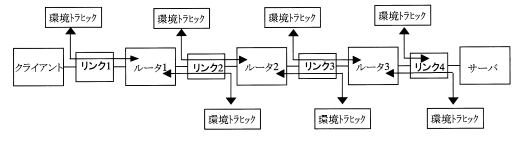
- (1) まず、現在の Web サーバの負荷レベルを検出する。つまり、対象サーバについて、平均アクセス頻度  $\lambda$  (リクエスト/秒) および同じくサービス平均時間  $T$  (秒) を取得する。待ち行列理論におけるリトルの法則より、滞在ジョブ平均数  $N (= \lambda T)$  を求め、 $N < 2$  ならば高負荷でないとする。高負荷でなければ、次ステップ以降を行う。
- (2) 評価対象の URL に関して、ネットワーク管理を行うサーバから、実際に Web リクエストを送出して、最初のデータ受信までの最小時間  $T_s$  (s), GET コマンドパケットサイズ  $S_g$  (B), 受信データサイズ  $S_1$  (B) を計測する。
- (3) リンクモデルのパラメータ値である帯域値に基づき、 $S_g, S_1$  から転送遅延時間を求める。また、経路上のルーティング処理時間の総和を求める。
- (4) CPU 使用時間は、  
 使用時間 = 最初のデータ受信までの時間  
 - 転送遅延時間の総和  
 - ルーティング処理時間の総和  
 となる。

### 【転送ファイルサイズ】

ネットワークマネジメントシステムで把握している Web サービス管理情報から求める。つまり、データ



(a) 実ネットワーク (実験環境)



(b) シミュレーションモデル

図 10 比較評価実験

Fig. 10 Experimental system of estimation.

サイズとアクセス頻度から、1 アクセスあたりの平均データサイズを得る。

## 4. 評価

前章で提案した解析方式の妥当性を実際のネットワークでの実測値と比較して評価した。評価は、4 ホップからなる小規模実験ネットワークと、実用に供されている大規模イントラネットで行った。

まず、実験ネットワークでの評価結果を述べる。評価したネットワーク構成は、図 10 (a) に示すようにクライアント-サーバ間に 4 ルータが存在する構成である。シミュレーションモデルは、各構成要素を組み合わせた図 10 (b) の形態となる。

比較評価したサービスは、Web サービスであり、クライアントからサーバに対して GET パケットを送った時間を起点として、サーバが返送した最後データパケットをクライアントが受信した時間までを応答時間 (RTT) として、シミュレーション値と実測値を比較した。なお、シミュレーションでは、コネクションの開始と終了処理については省略した。

ページサイズが 50 K バイトの場合について、シミュレーションと実測をそれぞれ 100 回ずつ行い、RTT を計測した。その結果をヒストグラム表示したものを図 11 に示す。シミュレーションと実測の結果を比較すると、標準偏差は、実測が 10.6 となり、シミュレーションの 5.9 よりも大きくなったが、平均値、中央値と最小値はほぼ一致している。ばらつきが大きい理由は、擾乱を与える環境トラフィックを、仮想的に大きなクライアントであるかのようにまとめて扱ったことによるばらつき減少や、パケット衝突時の再送制御をシミュレーションしていないことによるものと考えられる。

ページサイズを 10 K バイトから 100 K バイトまで、10 K バイトごとに変えて比較した結果を、図 12 に示した。なお、図 11 に見るように、実測値、シミュ

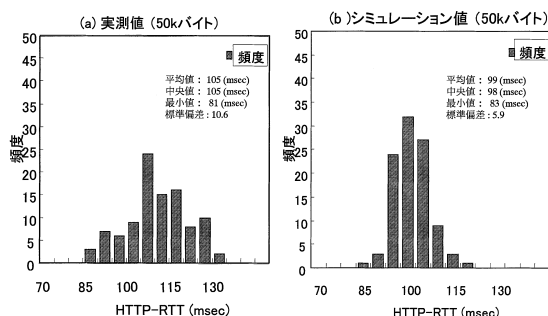


図 11 比較結果 (1)

Fig. 11 Comparison (1).

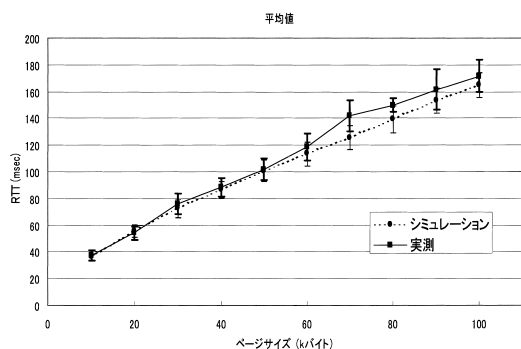


図 12 比較結果 (2)

Fig. 12 Comparison (2).

レーション値とともに、1つの中心を持つ分布をしていることから、評価は、中央値ではなく平均値で行っている。転送データ量が60Kバイトを超えるあたりから、シミュレーション結果がやや短い時間となっている。この理由も同様に、データ量が大きい場合に差が広がっている傾向から、環境トラフィックのばらつきや、再送制御をシミュレートしていないことによると考えられる。

この実験環境においては、シミュレーションと実測のRTTは比較的良好に一致しているといえる。

次いで、実用イントラネットでの評価を行った。評価対象は、1つのWebサーバを3拠点にあるクライアントが利用するサービスである。合計4拠点の総数23サブネットからなるネットワークが、日常の一般サービスも供されているバックボーンネットワークに接続されている。評価対象となるルータ総数は22である。

シミュレーションの所要時間は、マシン環境が、CPU Pentium3, 700 MHz, メモリ量500 MBの場合に、10秒間のシミュレーションをおよそ38分間で計算した。十分に実用的な計算時間であると考えられる。また、サービス時間のシミュレーション値は平均RTTが0.7

秒(最大値:2.1秒,最小値:0.4秒)であり、対応する実測値は平均1.4秒(最大値:2.1秒,最小値:0.9秒)となった。最大値は一致しているが、シミュレーションの最小値が小さい。シミュレーション開始後の過渡状態の除去が不十分であるためと考えられる。ただし、この比較では、日常の業務で利用されているイントラネットでの評価であるため、実測とシミュレーションとの比較条件は厳密には同一でないので、参考程度と考えるべきものである。

## 5. む す び

本論文では、インターネットの普及進展にともない、サービス品質の解析評価が今まで以上に重要になるとの認識のもとに、シミュレーションによる品質解析手法の提案を行った。解析手法開発にあたっては、多少の精度や高負荷時の複雑な挙動を正確にシミュレートすることは犠牲にしても、ネットワーク資源の処理能力計測やMIB情報というシステムが自動取得できる情報の範囲内でシミュレーションを行うことで、実用性を高めることに重点をおいた。開発手法を小規模実験網で評価し、実測値とシミュレーション値を比較評価した。実験の範囲ではよく一致する結果が得られた。さらに、実際のイントラネットを対象とした評価も行い、十分に実用規模でのシミュレーションが可能であることも分かった。

IPネットワークの代表的サービスであるWebサービスは、動的コンテンツ等、いっそう複雑な構造で実現されてきている。また、応答時間短縮やサーバ負荷軽減を狙って、コンテンツキャッシュが重要になっている。キャッシュサービスでは、1つのページを構成するオブジェクトが複数のサーバに分割して格納される。また、SOAP(Simple Object Access Protocol)等のプロトコルによって複数サービスを連携させる技術も重要となっている。シミュレーションにおいても、今後はこれらを反映したいっそう精緻なモデル化が必要となる。サーバモデルの精細化だけではなく、コンテンツを構成する個々のオブジェクトを独立して扱う必要があり、シミュレーションモデルの規模増大や、計算時間短縮も重要な課題となる。

また、本論文では、TCPコネクションの並列処理は評価対象としていないが、コンテンツキャッシュサーバ等では、並列アクセスを利用して応答時間を向上させる技術が使われている。シミュレーションの中でも、コネクション制御の精細化が求められ、今後の検討課題としたい。



## 参 考 文 献

- 1) 鶴 正人, 尾家祐二: インターネットの特性計測技術とその研究開発動向, 情報処理, Vol.42, No.2 (2001).
- 2) 木村, 谷口, 高土居: インターネットパス帯域測定法の比較評価, 信学技報, SSE98-209, IN98-181, pp.67-78 (1999. 3).
- 3) 青木, 菊池, 勝山ほか: IP ネットワークの性能評価測定技術, 信学技報, IN98-90, CQ98-32, pp.9-16 (1998. 10).
- 4) Adachi, M., Kikuchi, S. and Katsuyama, T.: NEPRI: Available Bandwidth Measurement in IP networks, *ICC2000*, S12.4 (2000. 6).
- 5) 間瀬憲一: インターネットの品質・トラヒック管理(1)—ネットワークのモデル化と品質・トラヒック管理の概要, 信学誌, Vol.82, No.10, pp.1054-1061 (1999).
- 6) 関口敦二, 土屋 哲, 石橋宏司, 安達基光, 勝山恒男, 野島 聡: ポリシイ制御型ネットワークにおけるポリシイ生成方式, 信学技報, IN99-58, CQ99-36 (1999. 10).
- 7) 山田博司: インターネットの品質・トラヒック管理(4)—サービス品質評価とネットワークシミュレーション, 信学誌, Vol.83, No.2, pp.137-142 (2000).
- 8) <http://www.keynote.com/>

(平成 13 年 6 月 12 日受付)

(平成 13 年 11 月 14 日採録)



勝山 恒男

1974 年慶應義塾大学工学部計測工学科卒業。1976 年同大学大学院工学研究科(修士課程)修了。同年富士通研究所入社。以来, 交換システムおよび通信端末や, コミュニケーションサービスの研究開発に従事し, 現在はネットワークミドルウェアの研究開発を担当。電子情報通信学会, ACM 各会員。



高橋 英一(正会員)

1966 年生。1994 年九州大学大学院総合理工学研究科情報システム学専攻博士課程単位取得退学。同年富士通研究所入社。博士(工学)。ネットワークの管理・制御およびシミュレーションに関する研究に従事。日本ソフトウェア科学会会員。



田村 直広(正会員)

1988 年日本大学農獣医学部卒業。1989 年富士通株式会社入社。主に運用管理製品の開発に従事。1992 年より米国子会社 Fujitsu Software Corporation に出向, SNMP を用いた IP ネットワークの管理基盤およびその基盤上で動作するネットワーク装置監視マネージャの設計開発を行う。1997 年より富士通運用管理ソフトウェア事業部にてネットワーク・システム統合運用管理製品 SystemWalker の開発に従事。現在に至る。



小谷野 修

1974 年東京工業大学工学部電子物理工学科卒業。同年富士通(株)入社。FNA, OSI 等のネットワークアーキテクチャの研究開発に従事。1994 年以降, 運用管理ソフトウェアの開発に従事。情報処理学会情報規格調査会 SC6 専門委員。



安達 基光

1977 年早稲田大学理工学部電子通信科卒業。1979 年同大学大学院修士課程修了。同年富士通研究所入社。マルチメディア通信端末の研究に従事。1987 年から 89 年まで, ベルコア客員研究員として通信端末のヒューマンインタフェースの研究を行う。1990 年よりグループウェアシステムの開発に従事。現在, IP ネットワークの管理, 制御技術に関連したミドルウェアの研究開発に従事。IEEE, 電子情報通信学会各会員。



石橋 宏司

1957 年生。1981 年大阪大学工学部通信工学科卒業。同年富士通株式会社入社。大型汎用コンピュータの通信制御ソフトウェア開発に従事。1991 年よりネットワーク管理ソフトウェア開発に従事。現在, Web システムの運用管理を実施するミドルウェアの製品開発を担当。