

WWWにおける伝送時間の推定に関する一検討

竹内 大五郎* 小野里 好邦* 山本 潮* 清水 英夫** 木村 博茂**

5U-2

群馬大学工学部情報工学科*

東京電力技術開発本部システム研究所

1 はじめに

近年 WWW における Web ページのマルチメディア化の進行にともない Web ページのデータ量は肥大化の傾向にある。Web ページのマルチメディア化は WWW の必須要件であるが、Web ページデータ伝送の長時間化はユーザにとって望むところではない。このため Web ページのデザインの際、ユーザ環境における Web ページの伝送時間を把握することは重要である。本研究ではパケットのラウンドトリップタイム、ネットワークでのパケット損失率の違いによる Web ページの伝送時間への影響を把握および伝送時間の推定を行うため、シミュレーションモデルを設定し、その推定の精度の検証を行う。また、シミュレーションモデルを簡略化しファイル伝送に着目した解析モデルを設定する。これらの二つのモデルはネットワークで比較的得られやすい二つのパラメータ、ラウンドトリップタイムとパケット損失率を用いてモデル化している。

2 シミュレーションモデル

2.1 モデル

Web ページ伝送時間を決定する大きな要因の一つはネットワーク中での遅延であるが、ネットワークによる遅延は Web サーバ回線速度、基幹ネットワーク、ユーザ回線速度、トラフィックの状態などに影響される。本節ではこれらを大域的な視野から考え、比較的簡単に測定できるラウンドトリップタイムおよびパケット損失率から Web ページの伝送時間の推定を行うことを目的としてシミュレーションモデルを設定する。(図1参照) モデルでは Web サーバを M/M/1 待ち行列、ネットワークを遅延装置と見立てる。ラウンドトリップタイム R の $1/2$ を Web サーバ/クライアン

ト間のパケットの伝送遅延、クライアントでの処理時間を C 、パケット損失によるパケットの再送までの時間をラウンドトリップの 2 倍 $T_0 = 2R$ 、Web サー

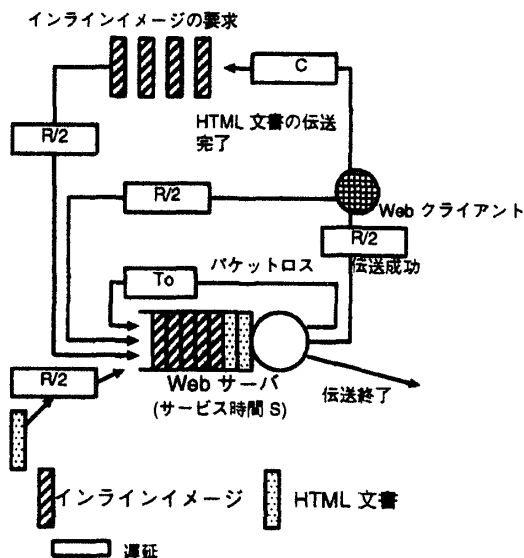


図 1: Web サーバ/クライアントモデル

バでの 1 パケットあたりの処理時間を S とする。このモデルにおいて Web ページへのアクセスはポアソン分布にしたがい発生する。Web サーバではパケット単位で処理が行なわれ、処理されたパケットは確率 p でネットワーク中で損失する。パケットの損失が発生した場合ジョブは T_0 後に再び Web サーバに到着する。要求されたファイルがすべて Web クライアントへ伝送されるにはパケット損失なしに [(ファイルサイズ)/(パケットサイズ)] 回 Web サーバで処理される必要がある。HTML 文書が Web クライアントですべて受信されると Web クライアントはインラインイメージの要求を Web サーバに行う。HTML 文書の要求からすべてのインラインイメージが Web クライアントに伝送されるまでの時間をターンアラウンドタイムと定義する。

2.2 実験

前節のシミュレーションモデルにより求められる Web ページ伝送時間の推定結果の精度を検証するために、実際のインターネットを使用して Web ページの伝送時間を計測し、シミュレーションモデルと比較を行う実験を行なった。本実験では IP パケットのヘッダに含まれる IP オプションフィールドに中継経路に関する情報を付加し IP パケットをインターネット中の任意のルータを経由させる。この方法により、Web サーバ/

Daigoro TAKEUCHI*, Yoshikuni ONOZATO*,
Ushio YAMAMOTO*, Hideo SHIMIZU**
and Hiroshige KIMURA**

Dept. of Computer Science, Faculty of Engineering,
Gunma University*

Telecommunication Engineering Department, Computer
and Communication R & D Center, Tokyo Electric Power
Company**

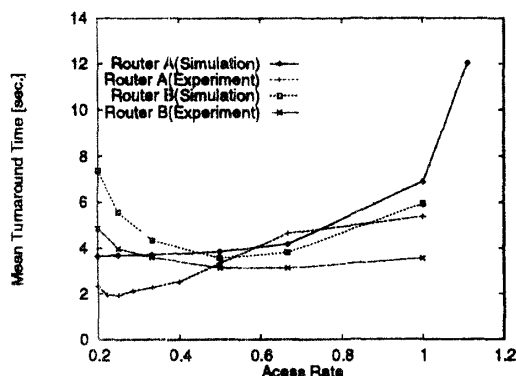


図 2: 測定値とシミュレーション値

クライアント間の伝送経路を変更し、この経路を通じた Web ページ伝送時間の測定を行なった。実験では最初に Web サーバおよび Web クライアント間のラウンドトリップタイムおよびパケット損失率の測定を行う。パケットサイズは 2048byte に設定し、100 パケットについて測定を行った。その後、測定プログラムを Web クライアントで動作させ Web サーバ/クライアント間の Web ページの要求およびデータ伝送を開始し、1000 ページ分の伝送についてターンアラウンドタイムの測定を行った。この実験で使用した Web ページは 1 ページあたり総計 80Kbyte であり、4 枚の 20Kbyte のインラインイメージを含んでいる。

2.3 実験結果

図 2 は二つのルータ A、B を中継させた時の実験結果およびシミュレーションモデルによる伝送時間の推定値を示したグラフである。ネットワークの状態は実験中も変化し続けるためアクセス率が増加しても伝送時間が上昇するとは限らない。ターンアラウンドタイムより求めたタイムアウト時間は動的ではないためパケット損失率が大きい場合モデルの精度劣化の原因となっている。また、シミュレーションによるターンアラウンドタイムは測定値と比較し長く見積もられている。これは TCP のウィンドウサイズが 1 に固定されている場合をモデル化したためと思われる。

3 解析モデル

前節のシミュレーションモデルは一つの Web ページ全体の伝送についてモデル化を行なった。本節ではシミュレーションモデルを簡略化し Web ページを構成する一つのファイルの伝送に着目し、解析モデルを設定する。このモデルでは Web サーバを M/M/1、ネットワーク、タイムアウトを遅延を M/M/∞ 待ち行列とする。図 3 にこのモデルを示す。ここで、A をファイルのアクセス率、R を平均ラウンドトリップタイム、B をパケットサイズ、F を平均ファイルサイズ、S を Web

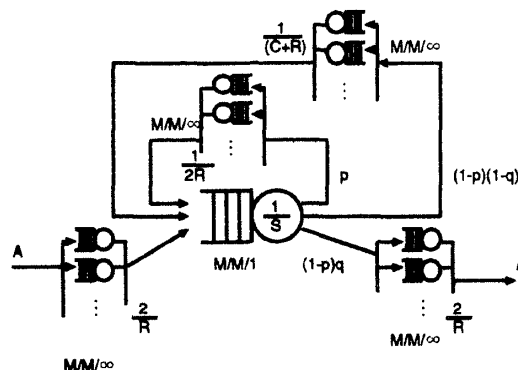


図 3: 解析モデル

サーバの 1 パケットあたりの平均処理時間、C をクライアントの 1 パケットあたりの平均処理時間、p をパケット損失率とし、q は Web サーバで処理されたパケットでファイルの伝送が終了する確率で $q = B(1-p)/F$ とする。解析の結果、1 ファイルの応答時間 T は以下の式で表される。

$$T = R + \frac{2FpR}{B(1-p)^2} + (C+R) \left(\frac{F}{B(1-p)} - 1 \right) + \frac{FS}{B(1-p)^2 - AFS}$$

この解析モデルから、ラウンドトリップタイムの変化は応答時間に線形的な影響を与えるがシステムの飽和する到着率の限界に影響せず、パケット損失率はシステムの飽和に大きく関係することが分かった。

4 むすび

本稿では Web ページの伝送時間を推定するためシミュレーションモデルおよび解析モデルを設定した。またシミュレーションモデルの精度の検証実験を行なった。検証の結果シミュレーションモデルの推定伝送時間は実験と比較し低負荷時、伝送時間は 2 倍程度に大きく見積もられることが分かった。これはモデルが TCP のウィンドウ制御を考慮にいないことが原因と考えられるが、今後の課題である。また、シミュレーションモデルを簡略化し、ファイル伝送に着目した解析モデルから、ラウンドトリップタイムの変化は応答時間に線形的な影響を与え、パケット損失率はシステムの飽和に大きく関係することが分かった。

参考文献

- [1] Louis P. Slothouber, "A Model of Web Server Performance", <http://www.starnine.com/webstar/overview.html>, 1996