

インターネットにおける End-to-End パフォーマンスの測定方式と評価

串田高幸

kushida@trl.ibm.co.jp

〒242-8502 神奈川県大和市下鶴間1623-14
日本アイビーエム株式会社 東京基礎研究所 LAB-S76

インターネットでは、現在、多くのアプリケーションで使われており、共通の通信媒体として利用されている。そのため、インターネットのトラフィックは爆発的に増大してきている。インターネットにおける End-to-end パフォーマンスは、簡単に測定を行なう方法として、現在まで多くの研究がおこなわれてきた。しかし、End-to-end の測定を使って Internet の特徴を一般的に測定する方式は、まだ確立されていない。本稿では、End-to-end の測定とその評価を行なって、インターネットにおける End-to-end の特徴を報告している。

End-to-End performance measurement and evaluation on the Internet

Takayuki Kushida

kushida@trl.ibm.co.jp

LAB-S76, IBM Japan Ltd., Tokyo Research Laboratory
1623-14 Shimotsuruma, Yamato, Kanagawa 242-8502 JAPAN

The Internet is used for many applications, and it becomes a common media in our daily life. In this results, the usage of the Internet is rapidly increasing recently. Although there were many studies for the end-to-end performance on the Internet, there is no common method to show the characteristics of the Internet. This study is focused on the characteristics of the correlation between the probe packet and the target TCP connection. The results of the experiment shows that the experiment on the end-to-end performance is effective to understand the characteristics on the Internet.

はじめに

インターネットは、数多くのところで使われはじめてきている。このインターネットの中で最もよく使用されるアプリケーションは、World Wide Web(WWW)である。WWWは、インターネットのアプリケーションの中核として、その使用量が劇的に増大しており、今後も増大していくであろう。また、WWW以外のアプリケーションとしてInternet PhoneやInternet Videoのようなマルチメディアのストリーム型の転送も次第にその使用量が増大してきている。このような背景より、インターネットにおいてトラフィックの管理の重要性が認識されてきている。

インターネットの基本技術は、パケット交換のネットワークが相互接続されたネットワークである。このパケット交換技術は、アプリケーションから渡されたデータをパケットと呼ばれる短い長さのデータのチャンクにして、送出するソースアドレスと受信する目的ノードのアドレスをパケットのヘッダーに入れて、ネットワークに送り出す。途中のノードでは、転送されてきたパケットのヘッダーにある目的アドレスをチェックして、このノードが持っているルーティングテーブルのエントリーと整合するエントリーを検索する。整合したエントリーから、このパケットを次に転送するノードを決める。途中のノードでは、パケットの転送において、単純にルーティングテーブルを用いるだけなので、比較的安価にネットワークを構築することができる。そのため、インターネットは、ネットワークに対する投資を少なく構築することができる。

このよう簡単にネットワークが構築できる反面、インターネットは、途中経路のルーターの機能が簡単であるために、バンド幅、遅延、損失などのQoS(Quality of Service)が保証されていない問題点があり、このようなQoSを保証するような研究が行われている [1]。またインターネットのアプリケーションにおいて、実時間アプリケーションやバンド幅を事前に予約して必要とするようなアプリケーションを確実に動作させる保証がない。そのため、途中の混雑があるときには、データが時間通りにクライアントに到達しないことがある。さらにインターネットのパフォーマンスに関して、パケットを送出したノードからパケットを受信するノードまでパフォーマンス測定方式及び結果について、共通

の方式が確立されていない。

インターネットにおいて、End-to-endのバンド幅と遅延を事前に予測する事が可能になれば、その予測値をアプリケーションプログラムに渡すことができる。その結果、アプリケーションでは、ネットワークの中で次に予測されるバンド幅や遅延の値を使用して、アプリケーションのアルゴリズムを動的に変更することができる。例えば、クライアントが、複数のサーバーへ順次アクセスしてデータを取得してくるようなアプリケーションを想定する。このとき、クライアントが、ネットワークにおいて最も早いアクセスであることが予想できるサーバーに対して、はじめにアクセスを行なうようにする。このような設定を行なうことによって、複数のアクセスを行なった場合でも短い時間でサーバーから応答をもらうことができる。

本研究では、End-to-endの測定とその評価を行なうことによって、インターネットにおけるパフォーマンスの特徴を調査することを目的としている。その特徴を調べることによって、事前に行なわれるパフォーマンスの測定から、ターゲットとなるパフォーマンスを予測することが可能かどうかを調べてゆく。

まず、インターネットにおける関連した研究について述べて、次に本研究で行なった実験方法及びその結果について述べる。また実験から得られた結果から、方法の適合性についての議論を行なって、今後の方針について述べてゆく。

関連した研究

一般にインターネットの特徴を調査するためのEnd-to-endでパフォーマンスを測定する方式は、特別な測定装置もいらなため、簡易に実験を行なうことができる。End-to-endでパフォーマンスの測定を行なう方式は、“Intrusive method”あるいは“Active method”と呼ばれる。この方式は、測定のためのプローブパケットをネットワークに送り出して、その返答が帰ってきた時間を測定して結果を出している。一般的によく知られているpingコマンドは、この方式に分類される。このコマンドは、指定された長さのICMP echo requestパケットとSequential番号を入れたパケットを、測定すべき遠隔のホストに送出する。遠隔ホストでは、受信したパケットからICMP echo replyパケットを送

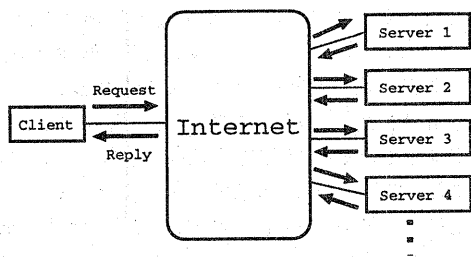


図 1: 実験の構成

り主に返す。この ICMP echo request パケットと ICMP echo reply パケットの時間差を測定結果として出す。また、Sequential 番号によって、パケットが損失したかどうかを判定する。

この Active Method を使った研究として、Internet のパケットロスと遅延の測定を行ない、その測定結果を 2 つの入力をもった Queue Model で解析した結果が報告されている [7]。この報告では、使った Model が、実験によくあうことが証明されている。また、この実験では、End-to-end のパス対して、UDP Tool を使うことによって、途中の経路におけるハードウェア及びソフトウェアの問題を検出することができることを証明した。また Internet におけるパフォーマンスの測定は、時間や条件により測定値が変化することから長期間の統計的な測定が必要であることについても言及している [8]。また、Active method の研究として、マルチホップの数と周囲遅延の関係について報告されている [11]。この研究では、多くのインターネット上のホストに関して両者の関係を調べて、両者の間に明確な関係がないことが報告されている。

一方、Active Method とは、対照的にプローブパケットを使用しないでネットワークのパフォーマンスを測定する方法がある。これは、LAN や WAN のバックボーンネットワークに受動型のモニター装置を設置してパフォーマンスを測定する方法である。このモニター装置を使って測定を行なう方式を "Non-intrusive method" あるいは "Passive method" と呼ばれる。この方式では、測定結果を解析するためにネットワーク上を流れている膨大な量のデータを記録して処理する必要がある。今までの研究では、この方式によって Internet のトラフィックの特徴を測定して、その解析結果について述べている [2][3]。また、この Passive Method の装置を使った応用分野として、ネットワークの使用量に応じた課金につ

いても報告されている [4][5][10]。

インターネットのバックボーンの測定は、NSFNET がバックボーンとして運用していた頃には、専用の測定装置を設置して行なわれていたが、現在のバックボーンでは、まとまったトラフィックの測定がされていない。米国では、現状の把握と将来へのデータとして、Internet のバックボーンにおいて、Internet のトラフィックの測定を行なうプロジェクトが進んでいる [6]。このプロジェクトは、膨大なトラフィックが流れているインターネットのバックボーンにおいてトラフィックを正確に測定することを目的としている。

多くのクライアントが個別にプローブパケットを出すとネットワークの資源を消費してしまうことになる。この問題を避けるために SPAND (Shared Passive Network Performance Discovery) と呼ばれる研究が行なわれた。ここでは、共用の測定サーバーを置いて、そこでパフォーマンスの測定を行なうようにして、測定のためのパケットを減らすことを行なった [12]。

また、インターネットへのアクセス点から、残りのインターネットのホストへのパフォーマンスを測定するツールについても報告されている。このツールを使った実験を行なって、インターネットのバンド幅とその接続性について報告された [9]。

このように Active method 及び Passive method を使った多くの研究が報告されている。しかし、これらの報告では、インターネットにおけるアプリケーションのパフォーマンスに対して、プローブパケットとの相互関係が明白になっていない。

実験および結果

この実験では、インターネットのプローブパケットの測定とターゲットとなるべき転送の測定に関する特徴を解析することに焦点を当て測定を行なって、その結果を評価した。

インターネットを使って End-to-end を行なうための実験構成は、図 1 のように Client-Server になっている。図 1 の左側に測定システムを入れたクライアントがあって、右側に測定相手となる複数のサーバーがある。そして、中央に測定対象となるインターネットがある。測定は、次のような流れになる。クライアントから測定のためのプローブパケットを出して、そのパケットがインターネットを経由

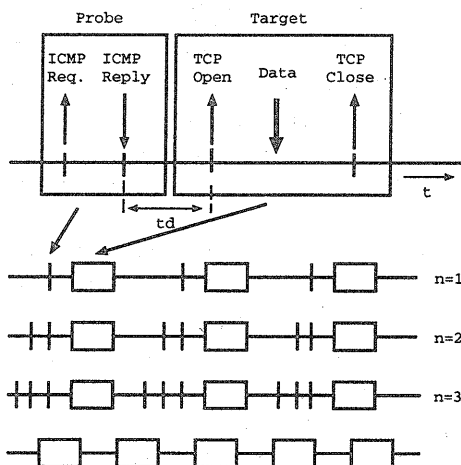


図 2: 実験の方法

してサーバーに到達する。その返答がサーバーからインターネットを経由してクライアントに戻ってくる。さらにプローブパケットを測定した後に TCP 接続によってサーバーからデータを受け取り、その結果を記録しておく。

一般にパフォーマンスの測定の結果は、測定時間、測定した場所や測定の回数に大きく依存していることが知られている。そのため、一度の実験で一般的な結論を出すことが困難である。実験を複数回、繰り返して、多くの実験データを得ることにより、その結果を統計処理により信頼性の高いデータとする。さらにそのデータを一般的なものにする必要がある。

図 2 は、End-to-end の実験を行なう方式である。最初にクライアントからプローブパケットとして ICMP echo request を出して Server から ICMP echo reply を受け取る。この request パケットを送ってから reply パケットを受信するまでの時間を測定することでクライアントと Server 間の遅延時間を測定してゆく。プローブパケットの送信を行なった後にターゲットデータの測定として TCP の接続を Client-Server 間で行ない、サーバーからのデータを取得する。この測定結果からダウンロードにかかった時間を測定する。

図 3 は、プローブトラフィックのバンド幅の分布を測定している。この測定は、遅延の分布に関して特定のサーバーに約 3000 回の測定行なって、その結果をグラフにしている。この図において、Y 軸は全体を 1 とした確率で、X 軸が遅延時間 (ms) を表

わしている。この図からわかるように遅延の分布は、約 19ms をピークにした減少関数の特徴を持っているが、正規分布ではないことがわかる。

図 4 は、ターゲットの転送のバンド幅がどのように分布しているかを測定した結果を表している。図 4 において、Y 軸は、全体を 1 とした確率であり、X 軸はバンド幅である。この図からターゲットの転送のバンド幅は、17.3KBytes/s を中心とした正規分布になっていることがわかる。

図 5 は、プローブの測定結果とバンド幅の測定結果についての相関関係をグラフにしている。図の X 軸はプローブの遅延で、Y 軸はバンド幅である。この図において、プローブの遅延が増えてもバンド幅に増加が見られないことがわかる。このことは、直前のプローブの測定結果にバンド幅が依存していないことを表している。この結果からバンド幅の予測をする場合に直前に測定したプローブの遅延の測定結果は有効ではないことがわかる。

図 6 は、2 つの連続したバンド幅の相関関係を測定結果である。図の X 軸は、 $B(n)$ で n 番目のバンド幅の値であり、Y 軸は $B(n+1)$ で $n+1$ 番目のバンド幅である。これは、連続したバンド幅の測定結果についての相関関係を示している。この図では、バンド幅 $B(n)$ に対して、まったく値が変化しない部分が、X 軸、Y 軸とも 17.5 KBytes/s 近傍に数多く集まっている。これをバンド幅の基準の値とする。さらに、 $B(n)$ が基準の値で一定であっても $B(n+1)$ が減ってゆく現象が、図 6 の下に直線に伸びている。これは、バンド幅が減少してゆくとき、ある確率において、事前のバンド幅と独立した事象であることを示している。また、 $B(n)$ の値が増加してゆくにも関わらず $B(n+1)$ の値が、変らない現象が図 6 の $B(n+1)$ が一定になっている個所である。これはバンド幅が増えたとしても、ある確率で次のバンド幅は、またもとの基準値に戻ってしまうことを示している。

さらに $B(n)$ の値が減少したときに、 $B(n+1)$ が反比例して増加する傾向がみられる。バンド幅が、減少したときに逆に次のバンド幅が増加するということであって、前のバンド幅を補うような動作が行われていることを示している。このように連続した 2 つのバンド幅に確率による相関関係があることが確認された。この相関関係に関しては、さらに詳細な特徴を調べる必要がある。

図 7 は、プローブパケットの遅延の分布を、 $n=1$

と $n=2$ と連続したパケットについて示している。この図で X 軸、Y 軸ともに遅延時間 (ms) であって、 $n=1$ と $n=2$ と同じような分布を示している。しかし、20ms にピークがあつて、さらに 30ms、40ms 及び 50ms 近傍に小さいピークがあることがわかる。これは、時間によって遅延が段階的に遅くなる変化があるために、確率分布のグラフに小さいピークとして現れる。

図 8 は、連続しているプローブパケット r_1, r_2 の遅延の相互関係について示している。この図からプローブパケットの遅延 r_1, r_2 は、遅延の最低値が同じであるが、相互の関係に関して、特徴を示していないことがわかる。

今後

本研究での End-to-end のパフォーマンスを評価実験は、はじめられたばかりであり、最初に基本となる遅延とバンド幅の関係について調べることを行ない、その結果を報告した。今後、インターネットのパフォーマンスのデータをさらに解析することによって、長期間あるいは短期間の相関関係よりトラフィックの予測を行なう方式を研究についてさらに評価実験を行なっていく必要がある。

参考文献

- [1] P. Ferguson and G. Huston, "Quality of Service", John-Wiley & Sons, Inc., New York (1998).
- [2] 串田, インターネットにおけるトラフィックの測定方式, 情報処理学会研究報告 98-DPS-86, 98(8) (東洋大学, Jan. 1998) pp.249-254.
- [3] T. Kushida, "The Traffic Measurement and the Empirical Studies for the Internet", In *Proc. of IEEE GLOBECOM'98*, (Sydney, Australia, November 1998).
- [4] R. J. Edell, N. McKeown, P. P. Varaiya, "Billing Users and Pricing for TCP", *IEEE JSAC*, 13(7), (September 1995) pp. 1162-1175.
- [5] 串田, トラフィックにもとづいたインターネットの課金方式, 情報処理学会研究報告 98-DPS-90, 98(84) (岩手県立大学, Sep. 1998) pp.123-128.
- [6] A. Adams, J. Mahdavi, M. Mathis, V. Paxson, "Creating a Scalable Architecture for Internet Measurement", In *Proc. of INET'98*, (Geneva, Switzerland, July 22-24, 1998).
- [7] J-C. Bolot, "End-to-end Packet Delay and Loss Behavior in the Internet", In *Proc. of ACM SIGCOMM'93*, (Ithaca, NY, 1993) pp. 289-298.
- [8] D. Sangi, A. K. Agrawala, O. Gudmundsson and B. N. Jain, "Experimental Assessment of End-to-end Behavior on the Internet", In *Proc. of IEEE INFOCOMM'93*, (Ithaca, NY, 1993) pp. 867-874.
- [9] M. Horneffer, "Methods of performance analysis of Internet access points", *Networks and ISDN Systems*, 30(1998) pp. 1607-1615.
- [10] S. Shenker, D. Clark, D. Estrin and S. Herzog, "Pricing in Computer Networks: Reshaping the Research Agenda", *ACM SIGCOMM Computer Comm. Rev.*, 26(2), (April 1996) pp. 19-43.
- [11] A. Fei, G. Pei, R. Liu, L. Zhang, "Measurement On Delay and Hop-count Of The Internet", In *Proc. of Global Internet'98*, (Sydney, Australia, November, 1998).
- [12] S. Seshan, M. Stemm and R. H. Katz, "SPAND: Shared Passive Network Performance Discovery", In *Proc. of USIST'97*, 1st Usenix Symposium on Internet Technologies and Systems, (Monterey, CA, December 1997).

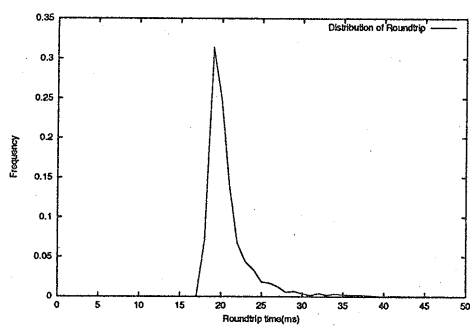


図 3: プローブパケットの遅延の分布

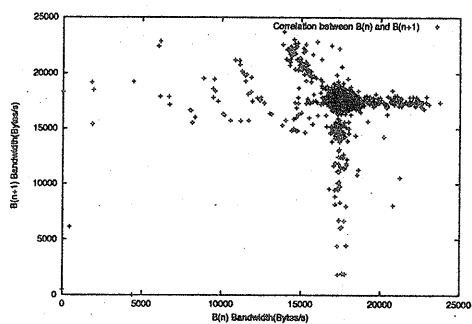


図 6: バンド幅の分布

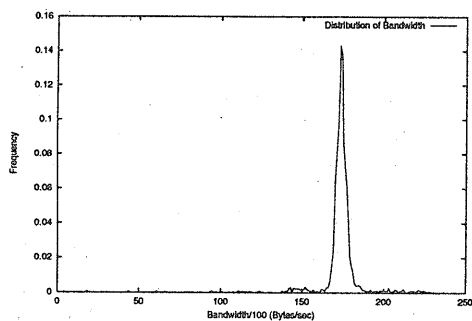


図 4: バンド幅の分布

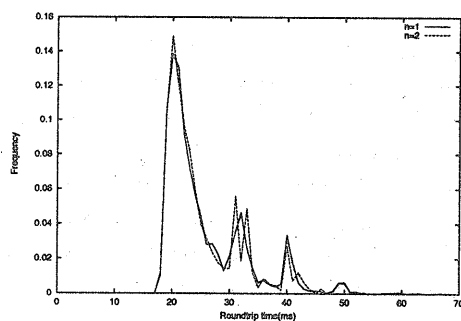


図 7: 遅延とバンド幅の分布

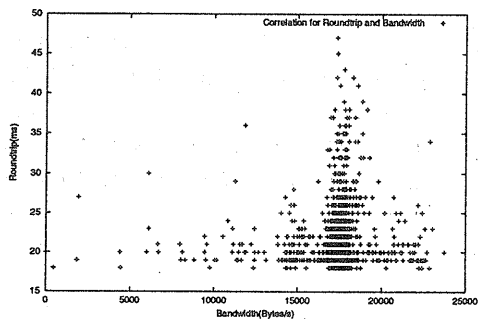


図 5: 遅延の分布

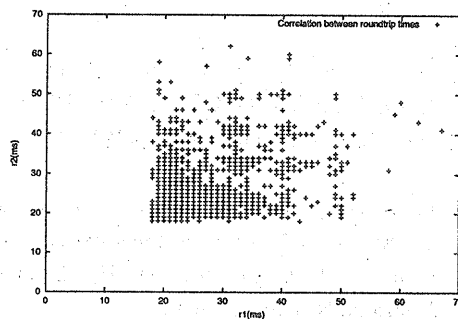


図 8: 連続した遅延の相関関係