

3D-4

インターネットにおける end-to-end パフォーマンスの特徴

申田高幸*

日本アイ・ビー・エム株式会社 東京基礎研究所

柴田義孝

岩手県立大学 ソフトウェア情報学部

はじめに

インターネットのようなパケット交換ネットワークでは、ネットワークの QoS が保証されていないため、常に end-to-end パフォーマンスが変動している。この原因は、インターネットで使用されている TCP/IP プロトコルが end-to-end パフォーマンスを保証するための機構を持たないベストエフォート型のネットワーク・アーキテクチャのためである。

一方、最近、インターネットへの一般からのアクセスに対して、CATV、ADSL、無線 LAN あるいは光アクセスの様々なメディアを使った高速化が進んできている。ネットワークのアクセスにおいて物理層及びデータリンク層では、高速化が進んでおり、この結果、ネットワーク層及びアプリケーション層においても end-to-end パフォーマンスが改善されると予測される。しかし、ベストエフォートであるために、end-to-end において、どの程度のパフォーマンスが改善されるかがわからない。

一方、複数のサーバにおかれている同じコンテンツに対するアクセス時間に対して、クライアントから最もパフォーマンスのよいサーバにアクセスして取り出すことが要求されている。これは、ユーザのアクセス率が、アクセス時間が少なくなることによって、上がることが知られているからである。もし、アクセス時間を決定できれば、例えば、複数のサーバに、まったく同じコンテンツがある場合、よいパフォーマンスによってサーバから転送することで、ユーザに対してよりよいサービスを提供することが可能になってくる。

この研究の目的は、end-to-end パフォーマンスが、どのような特徴があるかについて、実際にインターネットにおいて測定したデータをもとにして調べることを目的としている。ここでは、そのうちネットワークの end-to-end パスの特徴について、周回遅延、パケット間隔、パケット損失の 3 つのパラメータに関して 3 つのホストから測定した結果をもとにして、比べることを行なう。

測定

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法は、ホストからもう一方のホストに対して、測定用のパケットを送り出して、その結果を測定するアクティブ測定方式によって行われる。ここで測定するパラメータは、リンクの周回遅延時間 (RTT)、パケット

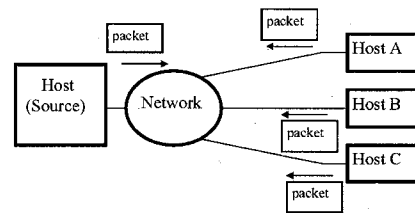


Figure 1: Measurement configuration

間隔の時間、パケット損失率であり、これら 3 つのパラメータについて以下に説明する。

周回遅延時間は、固定長のパケット (例えば、1K バイト) を送り出して、そのパケットが相手側のホストから戻ってくる時間の差分を測定している。この結果、ホストに対する双方向のリンクに関する遅延特性を測定することができる。図 1 は、測定時の構成である。図 1 の Host(Source) から測定用パケットが送出され Host A, B, C に届く。この Host A, B, C に届いた測定用パケットは、すぐに Host(Source) に対して送り返される。この測定の場合、Host(Source) で送出された時間を T_s として、戻ってきたパケットが Host(Source) で受信した時間を T_r とすれば、周回遅延時間は、単純に $RTT = T_r - T_s$ として計算することができる。この結果、Host(Source) と Host A, B, C のリンクの双方向の遅延特性を調べることができる。

また、パケット間隔の測定方法は、一定間隔で複数のパケットを送り出して、途中のリンクにおいて生じるパケットの間隔の遅延の分布を算出する。図 1 の Host(Source) から一定の間隔でパケットを送り出すと、ネットワーク内の転送条件の影響によって、パケット間隔の分布が異なる。図 2 は、パケット間隔について説明している。この図において、送出側の間隔が $t_1 = t_2 = t_3 = t_4$ であるとして、受信側の間隔が t'_1, t'_2, t'_3, t'_4 として測定することができる。これは、ネットワークにおいて遅延があるため、それぞれのパケットの間隔の値は、途中のリンクによって同じにならないためである。

さらにパケット損失率は、固定長 (例えば、1K バイト) のパケットを連続して複数個送った場合に、送出したパケットの数を N_s として、戻ってきたパケットの数を N_r とする。そのときの損失率は、 $Loss = (N_s - N_r) / N_s$ として表される。これは、パケットの途中で輻輳のために損失したパケットの確率を表わしている。

*Characteristics of end-to-end performance measurement and analysis on the Internet, Takayuki Kushida (kushida@trl.ibm.co.jp) and Yoshitaka Shibata (shibata@iwate-u.ac.jp)

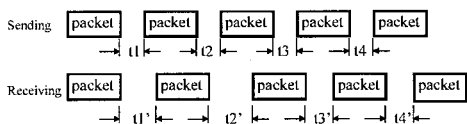


Figure 2: Measurement configuration

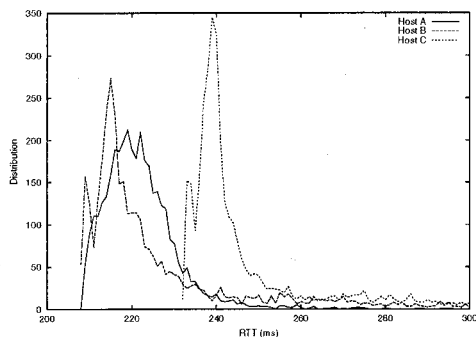


Figure 3: RTT distribution

測定結果

ここでは、end-to-end パフォーマンスの特徴を調べるため、インターネット上の3つのホスト Host A, Host B 及び Host C に対して測定を行なった。これらホストのホップ数は、Host A が 21, Host B が 18, Host C が 16 である。

図3は、横軸を遅延時間、縦軸を頻度として、3つのホスト Host A, Host B 及び Host C の周回遅延の RTT を1秒に一度づつ、合計 3600 回測定した結果の頻度分布をグラフ化したものである。図3では、Host B, Host A, Host C の順に遅延が大きくなっているが、半値幅は、Host C, Host B, Host A の順に大きくなっていることがわかる。

図4は、横軸をパケット間隔の時間、縦軸を頻度として、Host A, Host B 及び Host C のパケットの到着間隔を表したグラフである。

図5は、10個のパケットをそれぞれ送った場合に、横軸を測定時間、縦軸を損失確率として、上から順に Host A, Host B 及び Host C のパケットの損失率を示したグラフである。

議論

一般にインターネットにおいて、パケットが遅延を起したり、パケットの損失が起こる原因は、end-to-end パスの途中のリンクにおいて、パケットが過剰に流入して起こるネットワークの輻輳によって起きていると考えられる。例えば、図3の RTT の場合に、絶対的な遅延時間は、データを転送するために必要な最低限の時間であって、もし輻輳がなければ、常にこの時間によって転送される。測定誤差や機器の変動があるが、その変動は十分に小さいと考えられる。図3では、Host A の周回遅延分布が他の2つのホストよりも大きくなっている。これは、途中のリンクにおいて輻輳があり、そのため、周回遅延時間に大きく分布すると考えられる。

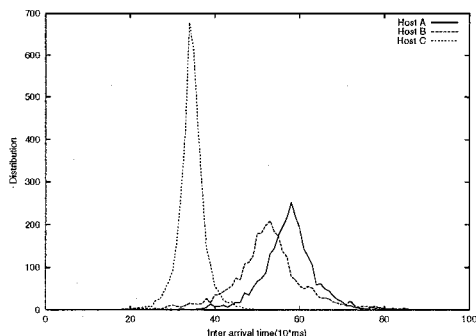


Figure 4: Inter-arrival packets distribution

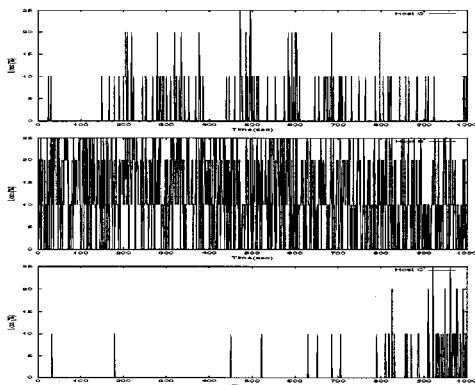


Figure 5: Packet loss distribution

また、パケット間隔は、等間隔で送出した連続パケットが、時間的に異なるため、途中リンクでどのような扱われるかの特性を示している。今回の実験では、1K バイトのパケットの到着間隔の結果の度数分布を図4によって示している。Host A, Host B, Host C では、ピークとなるときの時間が、それぞれ異なっており、また、半値幅も異なっている。半値幅が大きいのことは、パケットの転送において大きく変動していることを示している。

図5のうち Host A では、パケット損失が平均的に起きていることを示している。図5の Host B では、測定時間の全体に対してパケット損失が頻繁に起きていることがわかる。図5の Host C では、最初から 9000 秒程度まで、あまり輻輳が起これいないためにパケット損失が少なく、9000 秒以上からパケットの損失が多くなっていくことがわかる。

おわりに

この論文では、インターネットにおける end-to-end パフォーマンスの特徴を、パケットの周回遅延、パケット間隔、パケット損失の3つのパラメータによって調べた。これら3つの特徴は、途中のリンクの輻輳によって変化することがわかっており、これらの特徴値を使うことによって、end-to-end のパフォーマンスの評価を行うことができる。