

ICMP を用いたノード間スループット特性評価方式に関する一考察

20-1 前島 治 伊藤 嘉浩 石倉 雅巳 浅見 徹

国際電信電話株式会社 研究所

1. はじめに

インターネットあるいはイントラネット等のネットワークにおいて、任意の端末間のスループット特性を把握しておくことはネットワークを管理する上で非常に重要である。そのような特性を測定するにはエンド-エンドで測定ツールを実装しなければならないが、相互に接続するネットワークや端末の管理が複数の組織にまたがる場合には困難である。そこで筆者らは、ICMP パケットの上に任意のプロトコルを積み上げるアーキテクチャを用いて、両端ではなく片側からの測定により、エンド-エンドのスループット特性を評価する手法を検討している。

本稿では、ICMP を用いたノード間スループット特性評価方式について述べるとともに、疑似ネットワークによる実験結果を示し本方式の妥当性を検証する。

2. ICMP を用いた提案方式

ICMP に任意のプロトコルスタックを積み上げる場合として、以下のようなタイプが考えられる。

UDP 型：送信側は ICMP echo にデータをのせ、ICMP echo-reply を無視する

TCP 型：送信側は ICMP echo にデータをのせ、ICMP echo-reply を Ack として扱う

RSVP 型：ICMP パケット用の資源を RSVP で確保する

既に、ICMP パケットの上に任意のプロトコルを積み上げるアーキテクチャの一例として Treno(Traceroute RENO)^[2]がある。本稿では、これを用いて本手法の有効性を確認する。

3. Treno

Treno は Traceroute に関して TCP Reno をエミュレートし、ネットワーク上の特定の経路における IP パフォーマンスを測定するためのツールである。スロースタート、輻輳ウィンドウ等の TCP アルゴリズムをシミュレートしている。又、このツールには2つのモード(UDP モード、ICMP モード)が用意されており、UDP モードでの測定も可能である。本稿で用いた ICMP モードでは、シミュレートされた TCP アルゴリズムに従って ICMP echo を送出し、Target Host より返送された ICMP echo-reply のパケット数からスループット、パケット損失を求めることが可能である。このようにノード間スループット特性の測定が片側からだけで可能となる。また ICMP パケットを使用することから、測定区間の指定にはエンドノードだけでなくルータ等の中間ノードを用いることも可能である。

4. 実験構成

本実験機器の構成を図1に示す。Ethernet LAN により3つのネットワークを構成し、2台のルータ間を回線シミュレータを介したシリアル回線で接続した。国際伝送路を想定し、回線速度及び往復遅延時間を各々 2.048Mbps/4.096Mbps, 100ms とした。ここでは Treno

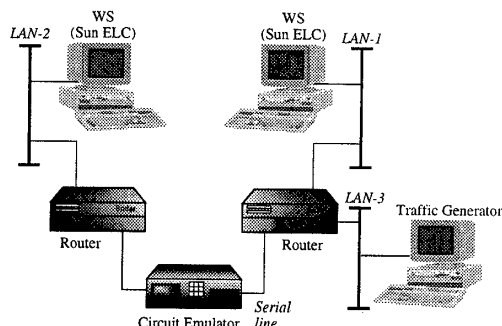


図1: 実験機器構成

は LAN-1 のワークステーション (SUN SS ELC/Sun-OS 4.1.4) で実行され、LAN-2 のワークステーション (SUN SS ELC/Sun-OS 4.1.4) を Target Host として測定を行った。LAN-3 にはトラフィックジェネレータを接続し、シリアル回線上に固定長パケットを一定間隔で送出してネットワークに負荷を与えた。

5. 評価実験及び考察

以上のような構成の下で Treno で測定されたノード間スループット特性の妥当性を検証するため、TCP/UDP のベンチマークプログラムである TTCP による TCP スループットの測定結果との比較を行った。但し、Treno の場合は決められた時間内の送/受パケット数を測定するのに対して、TTCP では決められた個数のパケットを送受するのに要する時間を測定する。測定条件は各々次のように設定した。

Treno MTU = 576bytes, Window サイズ = 32768bytes(固定), 測定時間=10sec

TTCP MTU, Window サイズ:同上, パケット数 = 3700(無負荷時の Treno が 10sec 間に送出したパケット数の平均)

トラフィックジェネレータからは、Ethernet フレームの最小サイズである 64 バイト、及び 512 バイトのフレームをフレーム間隔を変化させながらシリアル回線上に送出しネットワーク負荷として評価を行った。無負荷時の Ethernet の最小フレーム間隔で連続に送出した場合を 100%負荷として、フレーム間隔を調整して負荷を変化させた。本実験構成ではシリアル回線速度を 2.048Mbps, 4.096Mbps とし、その結果負荷は各々最大で 20%, 40% とした。ここで、トラフィックジェネレータから送出されるフレームは ICMP echo メッセージを使用した。

測定結果を図2~5に示す。横軸はネットワーク負荷、縦軸はスループット値を表す。回線速度が 2.048Mbps(図2, 図3)の場合、ネットワーク負荷に対するスループット低下は TTCP のほうが急峻である。これは、SunOS4.1.4 と Treno とで TCP の実装が異なるためである。具体的には、Treno では Fast Recovery というアルゴリズムを用いてパケット損失が発生した場合の Slow-Start を生じさせないようにしている。優先度の低い ICMP パケットをネットワーク負荷として送出しているため、輻輳時には TCP パケットを用いる

"A Study on a System for Evaluation of Throughput characteristics with ICMP" by Osamu MAESHIMA, Yoshihiro ITO, Masami ISHIKURA and Tohru ASAMI
KDD R & D Laboratories

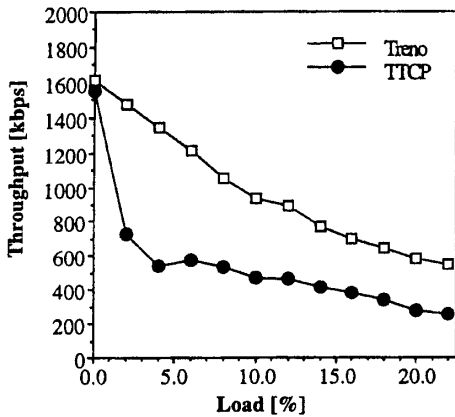


図 2: 測定結果 (2.048Mbps, 負荷 64bytes)

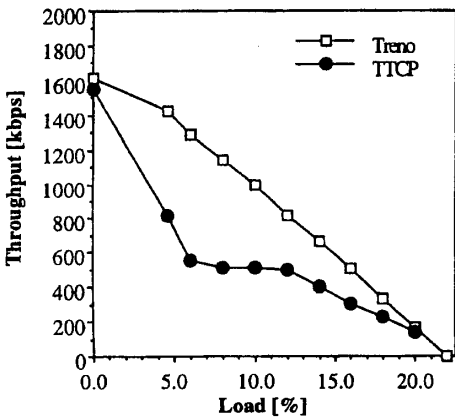


図 3: 測定結果 (2.048Mbps, 負荷 512bytes)

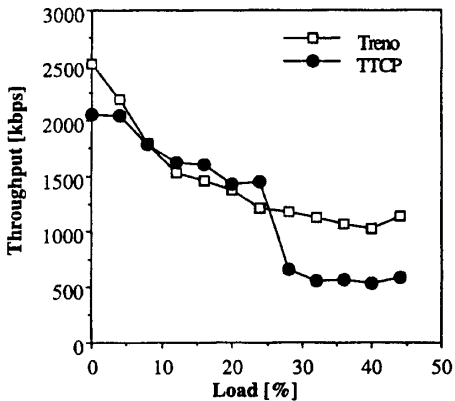


図 4: 測定結果 (4.096Mbps, 負荷 64bytes)

TTCPの方が、Trenoによるスループットを上回ると予想されたが、今回はTCP実装アルゴリズムの差異が大きく影響したといえる。また、ICMPパケットを使用するTrenoの場合は負荷用パケットと優先度が等しいため、スループットは回線速度からネットワーク負荷の帯域を差し引いた値にほぼ比例しており直線的に推移している。

回線速度4.096Mbpsの場合、無負荷時のスループットが回線速度と比較して低くなっているが、これはTCP Windowサイズと遅延時間より求められる理論上の最大スループットが2.6Mbpsとなるからである^[1]。図4

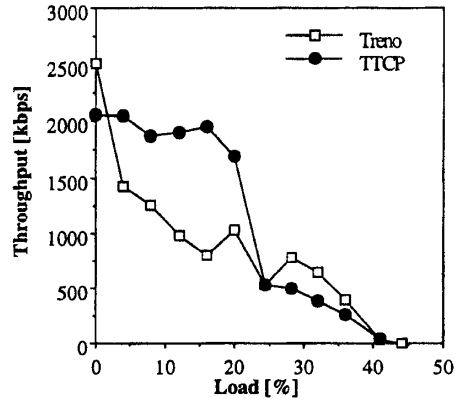


図 5: 測定結果 (4.096Mbps, 負荷 512bytes)

で26%付近、図5では22%付近で輻輳によりTTCPスループットは急激に低下している。これらの図では、輻輳が発生するまでの特性に違いが見られる。図5の場合は、優先度の低いICMPパケットから先に廃棄されるため、TCPパケットを使用するTTCPのスループット低下は少ない。一方同じICMPパケットを使用するTrenoでは負荷用パケットと等しい確率で廃棄されるためスループットの低下は大きい。

これに対して、図4の場合では、輻輳を生じるまではTreno、TTCPとも同じような特性を示している。TTCPの特性が図5と比較して若干低いのは負荷パケットサイズが小さい分、個数が多くなりルータにおけるパケット処理時間が増すためであると考えられる。Trenoのスループットが図5と比較して高い値を示すのは、負荷用パケットサイズが小さいためルータでのラウンドロビンによるキューイングの結果、出力バッファ内に占める割合が低くなるためである。負荷24%以降の特性は前述したTCP実装の違いによるものである。

以上の結果より、Trenoを用いて片端からパスのスループット特性を予測する場合、ICMPパケットの優先度の低さによるパケット損失やTCPの実装の違いから実際のスループットとの間に差が生じることを考慮に入れる必要がある。この差はネットワークの負荷状況、負荷パケットの性質等により変動する。回線速度、遅延時間、Windowsサイズは通常既知の値であり、前述の式より求められる最大スループットとTrenoによるスループットの比率によりある程度のネットワーク負荷状況を推定することは可能であるといえる。従って、負荷パケットの性質をパラメータとしたTrenoのスループット特性と実際の特性との関係を導出できればTrenoによる予測は可能であると考えられる。

6. おわりに

本報告では、ICMPを用いたノード間スループット特性評価方式について述べるとともに、疑似ネットワークによる実験を行い特性評価及びその考察を行った。その結果、本手法の有効性を確認することができた。片端からパスのスループット特性を予測するための近似式の導出については今後の課題とする。最後に日頃御指導頂くKDD研究所 村上所長に感謝します。

参考文献

[1] 伊藤, 石倉, 飯作, 浅見, “広帯域・高遅延ネットワーク上でのTCPスループット特性の測定”, 信学技報, IN95-9, pp.55-62, May 1995
 [2] Treno http://www.psc.edu/~pscnoc/treno_info.html