

国際 LAN 間接続を想定した TCP スループット特性の評価

1 T-4

伊藤 嘉浩

石倉 雅巳

飯作 俊一

浅見 徹

国際電信電話株式会社 研究所

1. はじめに

LAN 上の標準プロトコルとして TCP/IP は広く浸透しており、専用回線等を用いて相互接続された LAN 間でも用いられている。以前は、LAN 間接続用の回線は比較的低速な回線が用いられてきたが、最近では、フレームリレー、ATM などの出現により、かなり高速な回線を用いた LAN 間接続が行われるようになり、ネットワークの遅延時間が TCP プロトコルのスループット特性に与える影響を無視できなくなってきた。本稿では、国際間接続を想定し、高速かつ大きな伝送遅延を持つネットワークでの TCP のスループット特性について、TCP のスライディングウィンドウサイズに着目して実験・考察したので報告する。

2. TCP スライディングウィンドウ機構

TCP はコネクション型のプロトコルであり、スライディングウィンドウ機構により効率的なデータ転送とフロー制御を行っている。TCP を用いる FTP などのデータ転送においてこの機構が十分に働くためには適切な大きさのウィンドウバッファを持たせ、データ転送中にスライディングウィンドウが閉じないようにしなければならない。TCP のスライディングウィンドウサイズは可変であり、その値は受信側の利用可能なバッファサイズによって決まる。TCP のウィンドウサイズはプロトコル仕様上最大値でも 64kbytes であるが、これがどの程度の回線速度と遅延時間に対して有効であるか検討する必要がある。

3. 実験概要

本実験機器の構成を図 1 に示す。

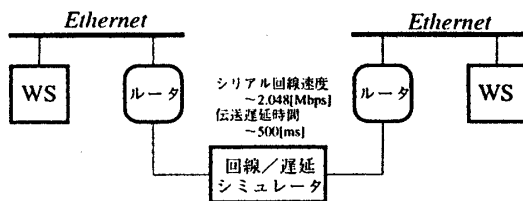


図 1: 実験機器構成

ワークステーションとルータを 10Mbps の Ethernet で接続してネットワークを構成し、シリアル回線を用い

てルータ経由で 2 つのネットワークを接続する。シリアル回線には回線遅延シミュレータを挿入することで、様々な回線速度、遅延を持つ疑似伝送路を実現した。また、TCP スループット特性の測定であるので、Ethernet 及びシリアル回線上で使用するレイヤ 3 以下にはコネクションレス型のプロトコルを用いた。実験においては TCP の特性評価アプリケーションである ttcp を用い、TCP のデータサイズを 100、500、1000、1460 [bytes] と変えて、それぞれのデータサイズでの TCP のスループット特性を測定した。また、TCP ウィンドウサイズを変化させるため、ttcp のオプションにより、送信側・受信側のソケットバッファサイズを 1024~52428 [bytes] まで変化させて測定を行った。また、疑似伝送路の遅延時間は片方向 0、20、100、250、500 [ms] とし、双方向に挿入した。

4. 評価実験および考察

遅延時間が固定された場合のバッファサイズとスループットとの関係を見るため、伝送遅延時間を片方向 100、500 [ms]、バッファサイズを 4096、48000 [bytes] としたときの、各 TCP データサイズにおけるスループット特性を図 2、図 3 に示す。値は受信側で 1 回当たり 150 秒以上で 3 回測定したものの平均値である。

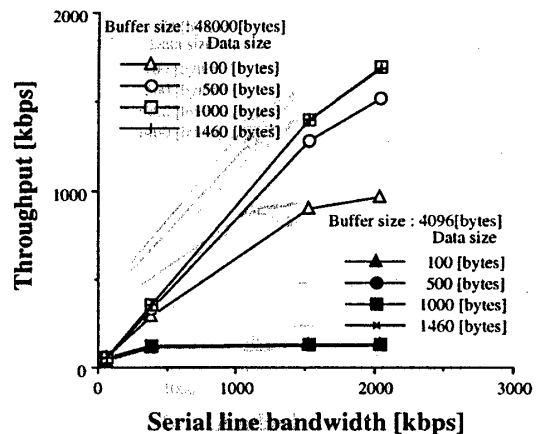


図 2: 遅延時間 100ms における TCP スループット

伝送遅延時間が片方向 100ms の場合、バッファサイズが 4096bytes であると、回線速度 384kbps 以上でバッファサイズが不十分であることがわかる。バッファサイズが 48000bytes あれば回線速度が 2048kbps でも十分である。データサイズによりスループットが異なるのは、TCP のパケットヘッダによるオーバーヘッドがデー

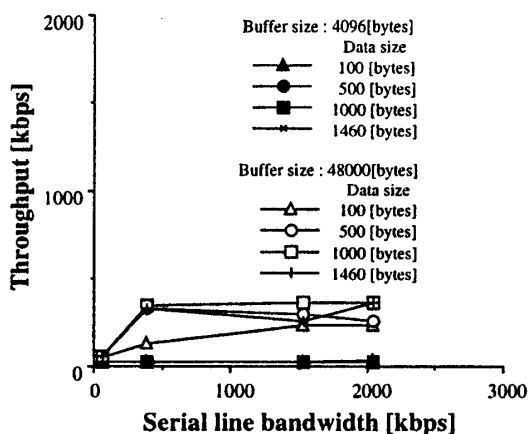


図 3: 遅延時間 500ms における TCP スループット

タサイズが小さくなると大きくなるためである。遅延時間が 500ms の場合、バッファサイズが 48000bytes でも回線速度 384kbps 以上で不十分であることがわかる。

次に TCP のデータサイズを 1000bytes、回線速度 384kbps、2048kbps の場合の測定結果を図 4、図 5 に示す。横軸はバッファサイズであり、縦軸は TCP スループットを回線速度で正規化した値である。また値は受信側で 1 回当たり 150 秒以上で 3 回測定したものの平均値である。

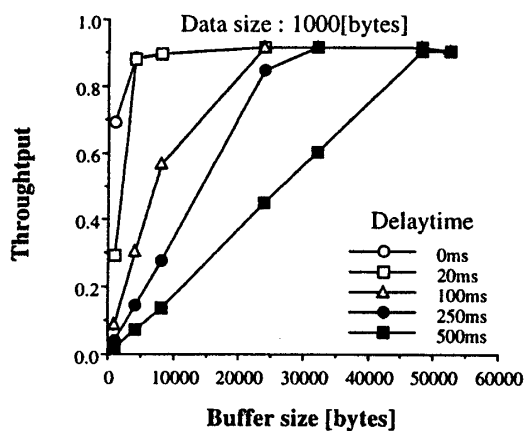


図 4: バッファサイズに対するスループット特性 (回線速度 [384kbps])

図 4 より、伝送遅延時間が片方向で 500ms ある場合は、回線速度が 384kbps ならばバッファサイズを最大とすれば十分であることがわかる。また、回線速度が 2048kbps の場合、バッファサイズを最大とすれば遅延時間が片方向で 100ms までは十分であることがわかる。

バッファサイズが不十分な場合、ネットワークに対する最大のスループット $T[\text{bps}]$ はバッファサイズを $B[\text{bytes}]$ 、回線上の往復遅延時間を $Dt[s]$ 、処理時間などその他の遅延時間を $Do[s]$ 、TCP ユーザデータサイズを $S[\text{bytes}]$ 、シリアル回線上の packet サイズを

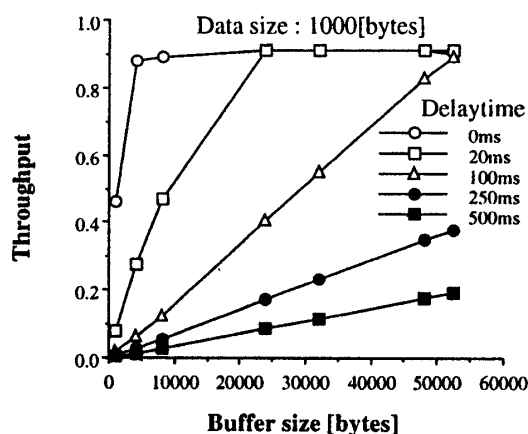


図 5: バッファサイズに対するスループット特性 (回線速度 2048[kbps])

$L[\text{bytes}]$ とすれば、 $T = \frac{8 \times B}{Dt + Do} \times \frac{S}{L}$ となる。データサイズを固定とすれば、packet サイズは固定となるので、 $k = \frac{Dt}{Dt + Do} \times \frac{S}{L}$ とすれば、 $T = k \times \frac{8 \times B}{Dt}$ となる。回線速度 2048kbps、データサイズ 1000bytes のときの図 5 から求めた k の値を表 1 に示す。

表 1: k の測定値 (データサイズ 1000bytes)

遅延時間 [ms]	20	100	250	500
k	0.56	0.88	0.93	0.94

回線上での遅延以外の遅延時間が十分に小さいとし、packet ヘッダなどによるオーバーヘッドがデータサイズに比べて十分に小さければ、 k の値は 1 に近くなる。測定値からこれに近い値が得られていることがわかる。遅延時間が 20[ms] の時、 k の値が小さくなってしまっているのは、回線上以外の遅延時間が回線上のそれに比べ無視できない値であるためと考えられる。上式を用いれば、ネットワーク上の遅延時間が既知であれば、得られる最大スループットが予測でき、例えば、遅延時間が片方向 200ms のネットワークでは、TCP ウィンドウサイズの最大値である 64kbytes がウィンドウサイズとすれば 1280kbps 以上の TCP スループットは望めないことがわかる。

5. おわりに

本稿では高速かつ伝送遅延の大きなネットワーク上での TCP スループット特性について実験・考察を行い、伝送遅延時間及び伝送速度と TCP におけるバッファサイズとの関係を明らかにした。

最後に日頃御指導頂く KDD 研究所 浦野所長、眞家次長に感謝します。

参考文献

- [1] D. L. Mills: "Internet Delay Experiments", RFC889, Dec. 1983.