

TCP/IP パケットを複数経路に分配して通信する方式の性能評価

5 U-1

林孝典[†], 山崎真一郎[†], 森田直人[†], 相田仁^{††}, 武市正人^{††}, 土居範久^{†††}[†]通信・放送機構, ^{††}東京大学, ^{†††}慶應義塾大学

1. はじめに

著者らは、インターネット通信の高信頼化を目的として、複数経路を用いたデータ転送方式について検討している[1],[2]. 本稿では、TCP/IPパケットを複数経路に分配して通信する方式において、各経路のネットワーク特性とTCPスループットの関係をシミュレーション評価した結果について報告する。

2. 複数経路データ通信方式

インターネットを用いて複数経路データ転送を実現する最も単純なネットワーク構成として、図1に示すように、専用ゲートウェイによって複数経路でIPトンネリングする例を考える。端末T1からT2へデータ転送する場合、ゲートウェイGW1においてT1より受信したパケットをアドレス変換して複数経路に分配し（例えば異なるインターネットサービスプロバイダISP(1)~(n)）、GW2でアドレス再変換した後にT2へ送信する。GW1では、各経路の回線速度と送信パケットサイズを考慮したRound Robinによってパケットを分配する。GW2では、パケット順序を整える場合と整えない場合がある。

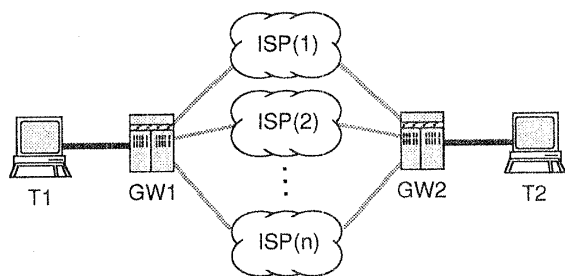


図1 複数経路を用いたTCP通信のネットワーク構成例

Performance Evaluation of TCP Communication using Multiple Routes.

Takanori Hayashi[†], Shin'ichiro Yamasaki[†], Naoto Morita[†], Hitoshi Aida^{††}, Masato Takeichi^{††}, Norihisa Doi^{†††}.

[†] Telecommunications Advancement Organization of JAPAN, 1-11-10 Azabudai, Minato-ku, Tokyo 106-0041, JAPAN,

^{††} The University of Tokyo, ^{†††} Keio University.

3. シミュレーション評価条件

回線速度128[kbit/s], 固定遅延時間10[msec]の2経路を用いて、2 [Mbyte]のファイルを転送した場合のTCPスループット特性を、OPNET[3]によりシミュレーション評価する。TCPは4.4BSD Liteの仕様に準拠し、MSSは536[byte]とした。各経路のネットワーク特性は、パケット遅延ゆらぎとパケット損失率を変化させて制御した。遅延ゆらぎは1秒毎に指数分布に従う遅延時間を加え、また、パケット損失はランダムに発生させた。

各経路でのパケット遅延時間差によってパケット順序が逆転する場合があるため、受信側ゲートウェイにおいてこれを整える場合（方式A）と整えない場合（方式B）について評価した。方式Aにおいて、パケット損失によりパケット順序が不連続になった場合には、“損失したパケットが再送されてくるまでの時間”もしくは“全経路でパケット損失後のパケットを受信した時間”まで順番待ちを行う。パケット順序は、各フロー毎にシーケンス番号とパケットサイズから求め、データを含まないACKパケットは順番を考慮せずに転送した。

4. シミュレーション評価結果

4.1 各経路のパケット遅延ゆらぎの影響

各経路のパケット遅延ゆらぎとTCPスループットの関係を図2に示す。各経路では、パケット損失は発生させなかった。

両方式とも、遅延ゆらぎの大きい経路の特性が、複数経路を用いた場合のTCPスループットに支配的となっていることが分かる。また、パケット遅延ゆらぎが大きくなるにつれて、方式Bのスループットの低下が大きくなった。これは、パケット順序が逆転した場合に発生する重複ACKパケット数の増加により、パケット損失を誤検出し、重複送信されたデータパケットが多くなったためである。

4.2 各経路の packets 損失の影響

各経路の packets 損失率と TCP スループットの関係を図3に示す。各経路では、packets 遅延ゆらぎは発生させなかった。

両経路で発生した packets 損失の総量が TCP スループットに影響を及ぼす傾向が見られた。また、packets 損失が大きくなるにつれて、方式Aのスループットの低下が大きくなった。これは、方式Aでは packets の順序が整うまで転送を一時中断するため、TCP フロー制御の高速再送・高速回復アルゴリズムが無効になる (packets 損失からの回復が遅くなる) ためと考えられる。

4.3 packets 遅延ゆらぎと packets 損失が同時に発生した場合の影響

同じ packets 遅延ゆらぎ特性及び packets 損失特性を持つ2経路を用いて、ファイル転送した場合の TCP スループット特性を図4に示す。

遅延ゆらぎと packets 損失が同時に発生すると、方式Bでは packets 遅延ゆらぎが大きくなった方が高いスループットが得られる領域があった。これは次の理由が考えられる。受信した packets 順序に逆転がない場合には、ACK packets は TCP の 200[msec] タイマーで刻まれた時間で返信されるが、遅延ゆらぎや packets 損失によって packets 順序が異なった場合には、即座に ACK packets が返される。結果的に重複 ACK packets を含めた ACK packets が数多く返信されるため、輻輳ウィンドウが速く開き、packets 損失からの回復も速くなったと考えられる。このため、回線速度が 256[kbit/s] の単一経路を用いてファイル転送した場合のスループット特性と比較しても、高いスループットが得られた (結果省略)。

5. まとめと今後の課題

複数経路に TCP/IP packets を分配して通信する場合、適用するネットワークの packets 遅延ゆらぎが大きい場合には packets 順序を考慮する機能が必要となることが分かった。一方、packets 損失率の大きいネットワークへ適用する場合には、上記機能がスループットを低下させることを示した。今回のシミュレーション条件下では、遅延ゆらぎ 50[msec] 以下、packets 損失率 0.5[%] 以下の範囲内では、上記機

能を適用しない方が高スループットが得られる範囲が広がった。適用するネットワークの回線速度や経路数の影響等は、今後の課題である。

参考文献

- [1] 林 他, "インターネットを用いた複数経路データ転送方式に関する一検討", 信学総大 B-7-78, 1999.3.
- [2] 林 他, "複数経路を用いた TCP 通信に関する一検討", 信学ソ大 B-7-51, 1999.9.
- [3] <http://www.mil3.com/>

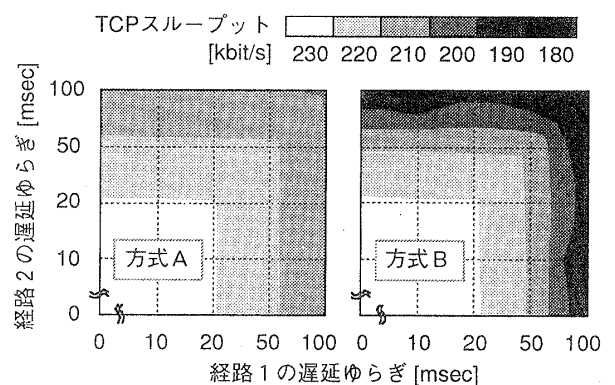


図2 各経路の遅延ゆらぎの影響

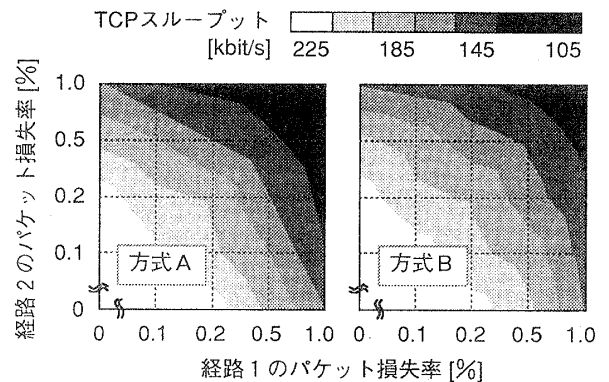


図3 各経路の packets 損失の影響

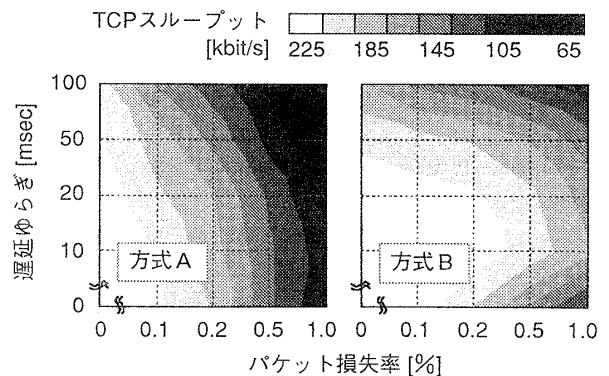


図4 遅延ゆらぎ及び packets 損失の影響