

複数経路通信プロトコル M/TCP を用いた広帯域環境における性能評価

伊藤 舞 (指導教員：小口 正人)

1 はじめに

現在、ファイル転送や電子メール、WWW など多くのインターネットを介した通信が、TCP (Transmission Control Protocol) を用いてデータ転送を行っている。TCP に代表される単一経路通信プロトコルは、経路上の障害に弱いという弱点を持つ。そこで、通信の頑強さと性能向上を目的として、エンド-エンド間において上位層および下位層に透過的に複数経路通信を行うことが可能になるよう TCP を複数経路対応に拡張した M/TCP (Multipath TCP) が開発された [1]。

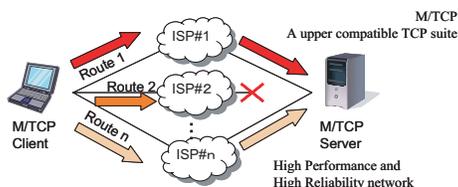


図 1: M/TCP

これまでの、10Mbps の 10BASE-T Ethernet 上で試作が行われていた M/TCP を、本研究では Fast Ethernet および Gigabit Ethernet のような広帯域ネットワークにおける動作環境で実装し、その性能評価を行って結果を考察する。

2 複数経路通信プロトコル M/TCP

M/TCP は TCP を複数経路対応に拡張することで、エンド-エンド間において上位層および下位層に対して透過的に複数経路通信を行うことを可能にする。図 2 に示すように M/TCP は二階層構造を持ち、その上位層ではフロー制御、バッファ管理、セグメントの順序および誤り制御など、コネクション全体の処理を行う。また M/TCP の下位層においては、データの送受信処理、高速再転送処理、輻輳制御など、経路ごとに独立した処理を行う。

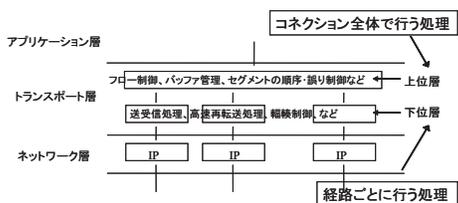


図 2: M/TCP の概念

3 研究内容

3.1 実験システム

図 3 のように M/TCP を実装した 2 台の PC を Fast Ethernet または Gigabit Ethernet 対応の IPv6 ルータ各 4 台ずつで接続し、2 組の実験システムを構築した。各マシンのスペックは、CPU が Pentium4 2.4GHz、

メインメモリが 512MB、OS は FreeBSD5.1、NIC は Corega Gether PCI-T32 である。また、IPv6 上で実装を行うことで、IP ルートオプションを用いた同一宛先への複数経路の指定を可能とした。

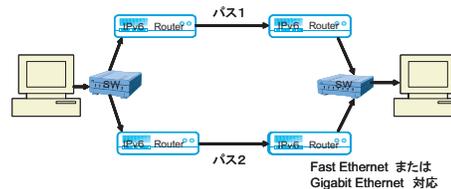


図 3: M/TCP の複数経路実験システム

3.2 基礎実験

基礎実験として、M/TCP 起動時に IP ルートオプションで同一ルータアドレスを 2 度指定することにより、単一回線上に仮想的に複数経路を構築し、スループットを測定した。はじめに 2 台の PC 間を Fast Ethernet とそれに対応する IPv6 ルータで接続し、スループットを測定した。その結果、ノーマルカーネル上では 75.8Mbps、M/TCP 上では 45.4Mbps となり、M/TCP を起動するとノーマルカーネル時のおよそ 2/3 の値となることが分かった。次に、2 台の PC 間を Gigabit Ethernet とそれに対応する IPv6 ルータで接続し、同様にスループットを測定した。ノーマルカーネル上では 375.2Mbps、M/TCP 上では 148.5Mbps という値となった。この場合 M/TCP 起動時はノーマルカーネル時のおよそ 2/5 の値となった。いずれの場合も単数経路のノーマルカーネル時に比べて、M/TCP 起動時の仮想的な複数経路の場合のほうがスループットが低くなった。これは経路が複数に分岐する部分と、その経路が再び単一にまとめられる部分でオーバーヘッドが生じるためであると考えられる。

3.3 複数経路通信の性能評価

次に 2 台の PC 間を Fast Ethernet とそれに対応する 4 台の IPv6 ルータで接続し、M/TCP を起動した複数経路の場合とノーマルカーネル時の単数経路の場合の性能を比較、検討していく。

まず、複数経路通信と、単数経路通信でのスループットを測定した [図 4]。いずれも send socket size を大きくしていくとスループットも増加していき、send socket size が 64KB のあたりからほぼ一定となった。また、send socket size の増加に伴い複数経路と単数経路での値の差が開いていき、最終的には M/TCP を用いた複数経路通信でのスループットの値は、ノーマルカーネルでの単数経路でのスループットの値の 2/3 程度になることが分かった。これは仮想的な複数経路上でおこなった基礎実験と同様の結果となり、やはり経路が複数に分岐する部分と、その経路が再び単一にまとめられる部分でオーバーヘッドが生じるためであると考えられる。

複数経路を有効活用している場合も M/TCP が CPU に対して特別な負荷を与えていないと考えられる。

次に、複数経路と単数経路で等しい条件の下、それぞれ通信を行ったときの CPU 使用率を測定した [図 5]。横軸に時間経過、縦軸に CPU 使用率をとったものである。いずれの場合も通信時の CPU 使用率は最大 40 % 程度となり、またグラフの波形にも複数経路、単数経路に大差がないことが分かる。これより、M/TCP が CPU に対して特別な負荷を与えていないと考えられる。即ち、M/TCP は経路の分岐に伴うオーバーヘッドでスループットの値は落ちるが、この処理は CPU に負荷をかけるものではない、ということが分かった。

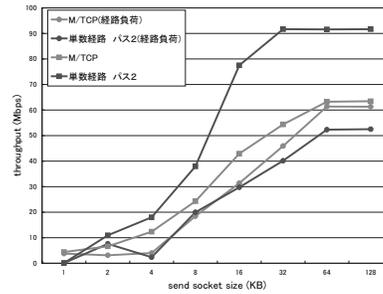


図 6: 経路負荷存在時のスループット

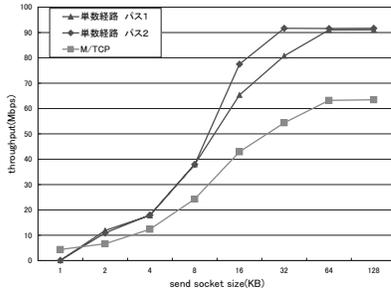


図 4: 単数経路および M/TCP のスループット

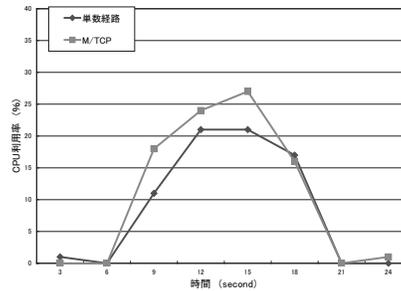


図 7: 経路負荷存在時の CPU 使用率

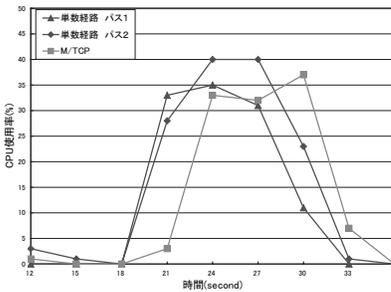


図 5: 単数経路および M/TCP の CPU 使用率

3.4 経路負荷実験

より詳しく複数経路通信の性能を調べるために、2本の経路のうち片方において 100MB のファイルを転送し続け、負荷をかけた実験を行った。まず、複数経路と単数経路それぞれでスループットを測定した [図 6]。無負荷な環境における性能評価では M/TCP を用いた複数経路時とノーマルカーネルでの単数経路時では大きな差があったのに対し、負荷をかけた場合複数経路時のほうがやや高いスループットを出力するという結果となった。これは、単数経路では負荷の影響を直接受けてしまうのに対して、複数経路では 1 本の経路に負荷がかかっても、他の経路は負荷がかからないので影響を受けにくいという複数経路の利点を表している。また、複数経路に関しては負荷をかけていない場合とかけている場合との差がほとんどなく、経路に負荷がかかった場合の M/TCP の性能の高さが伺える。

次に、スループット測定時と同様の条件で、CPU 利用率をそれぞれ測定した [図 7]。横軸に時間経過、縦軸に CPU 使用率をとったものである。こちらは、無負荷時の性能評価時と同様、複数経路、単数経路に大差がないことが伺える。これより、経路に負荷を与えて

4 まとめと今後の課題

基礎実験から、これまで低ビットレートネットワーク上における動作しか確認されていなかった M/TCP が 100Mbps を超すハイパフォーマンス通信環境においても動作することが明らかとなった。また、複数経路における性能評価から M/TCP が CPU に対して特別な負荷をかけていないことが明らかとなった。これは実用化にむけての大きな利点になると考えられる。更に、片側の経路に負荷を与えた場合に、M/TCP を用いた複数経路が単数経路よりも高いスループットを出力することが明らかとなった。今後は、この利点を上手く生かしていくための複数経路に対するパケットの割り振り方を考えていきたい。

5 謝辞

本研究を進めるにあたり、M/TCP 実装の提供および、大変有用なアドバイスを頂いた東京大学大学院新領域創成科学研究科相田研究室に深く感謝いたします。

参考文献

- [1] 板谷 俊輔, 相田 仁: “複数経路プロトコル M/TCP の FreeBSD への実装の性能向上”, 電子情報通信学会 情報ネットワーク研究会, I N 2005-192, pp.213-218, 2006 年 2 月.
- [2] 伊藤 舞, 小口 正人: “複数経路プロトコル M/TCP の広帯域環境における性能評価”, 情報処理学会第 69 回全国大会, 4 U-1, 2007 年 3 月.