

MultiPathTCP の性能評価 Performance evaluation of MultiPath TCP

○古川輝¹, 澤邊知子²
*Akira Furukawa¹, Tomoko Sawabe²

Abstract: In this paper, we evaluate the performance of MPTCP in order to consider how to efficiently use MPTCP, which is included in the Linux kernels. MPTCP uses multiple paths, one path is the main flow and the other paths are subflows. We generated delay and packet loss in the main flow and evaluated the total throughput of MPTCP and the throughput of each path. The results showed that a decrease in the throughput of the main flow also decreases the throughput of the subflow.

1. まえがき

MultiPath TCP (MPTCP) とは, TCP の拡張技術であり, 複数パスを同時に使用し, 通信速度や耐障害性の増加が期待できる. IETF は 2013 年に MPTCP の仕様を Experimental Standard として発表しているが^[1], Linux で MPTCP を使用するためには MPTCP 用にカーネルを作成する必要があり, 簡単に使用できなかった. しかし, 2020 年に発表された Linux カーネル 5.6 より MPTCP 機能が標準に実装されるようになり, 今後, MPTCP の利用が促進されると予想される.

本研究では, Linux に標準実装されている MPTCP を適した環境で導入していくために, 基礎的データを取得し検討していく. TCP におけるスループットは遅延とパケットロス率に影響される. 今回はメインフローの通信経路に遅延及びパケットロスを発生, 更に測定に用いた iperf のウィンドウサイズ (以下, WS と記載) を変更した場合のスループットの変化を計測していく.

2.では性能評価方法とその結果を, 3.では評価結果に関する考察を述べ, 4.でまとめを示す.

2. MPTCP の性能評価

2.1 評価方法

本研究では, 2 台の PC を 2 本の LAN ケーブルにより接続する. Linux で MPTCP を使う場合は, 1 本のパスをメインフロー, その他のパスをサブフローと設定する. 今回はメインフローである Path0 にネットワークエミュレータを挟み, 遅延, パケットロスを発生させ, TCP と MPTCP のスループットの評価を iperf を用いて行う. この際, iperf の WS を 100 から 400[kbyte]まで 50[kbyte]毎に変更して計測を行う. 評価システムの構成は Figure 1 に示す.

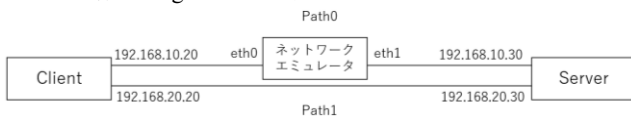


Figure 1. Evaluation system, configuration

2.2 遅延とスループットの関係

ネットワークエミュレータに遅延を発生させた場合の MPTCP におけるスループットの変化を Figure 2 に, TCP の場合を Figure 3 に示す. 遅延が 0 の場合, TCP では WS の値に関わらずほぼ同じスループットであるが, MPTCP では WS が小さい場合スループットが低い. 特に WS が 100[kbyte]の場合は, TCP よりも低くなる. また, TCP の場合は WS に若干影響されるものの遅延に比例してスループットが低下した. 一方で MPTCP の場合, WS が 100~300[kbyte]まで

は遅延の増加とともに徐々に低下しているのに対して, 350 及び 400[kbyte]では急激にスループットが低下する結果となった.

MPTCP において急激にスループットが低下した 400[kbyte]の結果をより詳しく調べるためにパケット解析を行った. その結果を Figure 4 に示す. このグラフではメインフローである Path0 の 192.168.10.20 から 192.168.10.30 へのパケットを赤色, サブフローの Path1 の 192.168.20.20 から 192.168.10.30 へのパケットを青色, 再送パケットをピンク色で示している. 計測結果より, 定期的なスループットが低下しており波状のグラフになっていることが分かる. また, 遅延をかけたメインフローのスループットの低下に伴いサブフローも低下していることが分かった. MPTCP には, RTT が十分に大きいフローが存在する場合にそのフローの輻輳ウィンドウサイズが上がり, MPTCP 全体として性能が悪くなるという特性があり, 今回のサブフローの性能低下はこれに起因すると考えられる^[2]. そもそも, メインフローの性能低下は WS が大きすぎたことによる輻輳の発生, かつ, 遅延を加えたことにより再送タイマにかかり再送制御が行われたが原因であると考えられる. 実際, グラフ内の各ピークで再送制御が行われており, ここから通信量の減少が起こっている.

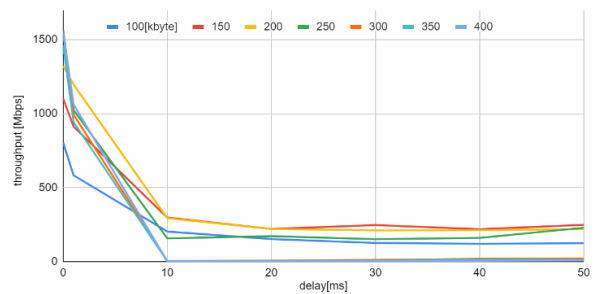


Figure 2. Throughput of MPTCP with varying delay

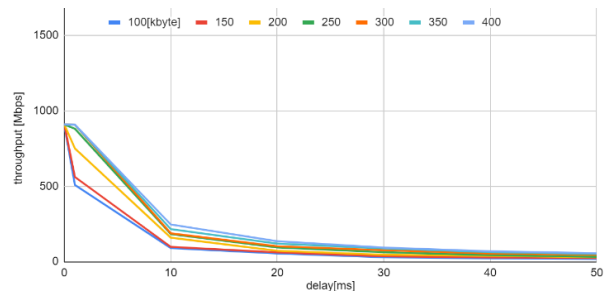


Figure 3. Throughput of TCP with varying delay

1 : 日大理工・学部・情報 2 : 日大理工・教員・情報

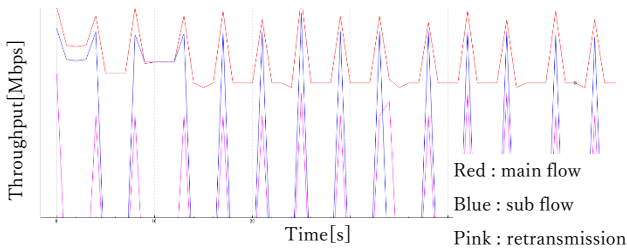


Figure 4. Throughput of MPTCTP (WS=400[kbyte],delay=10[ms])

2.3 パケットロスとスループットの関係

ネットワークエミュレータにパケットロスを発生させた場合のスループットを Figure 5, Figure 6 に示した。Figure 6 の TCP の場合には WS が小さい程パケットロスの影響を大きく受けスループットの低下を早くに受けていた。一方で, Figure 5 の MPTCP の場合には WS とパケットロスとの関係は様ではなくばらつきのある結果となった。ただし, どの WS においてもパケットロスの増加させていった際, 最終的に 600~700[Mbps]程度に収束した。これはパケットロスによりメインフローが動作しなくなり通信制限のないサブフローのみを使用していることが原因であると考えられる。この環境でパケット解析したのが Figure 7 であり, 制限をかけたメインフロー(赤色)は通信量が極端に少なく, サブフロー(青色)のみが動作していることが分かる。

また, Figure 5 の WS=100[kbyte],loss=20[%]の時のように収束後のスループットよりも小さくなる場合があった。パケット改正を行った結果(Figure 8)から, MPTCP ではメインフローが動作している場合, サブフローは最大速度で動作出来ず, 両フローが低速度で動作することで, 収束時よりもスループットが低下した。ただし, グラフの 28[s]及び 40[s]付近のメインフローのスループットが急激に低下したタイミングではサブフローの本来の性能を発揮している。このことから, メインフローの性能がサブフローにも影響していると考えられる。

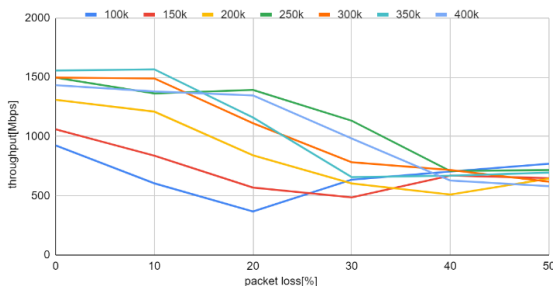


Figure 5. Throughput of MPTCP with varying packet loss rate

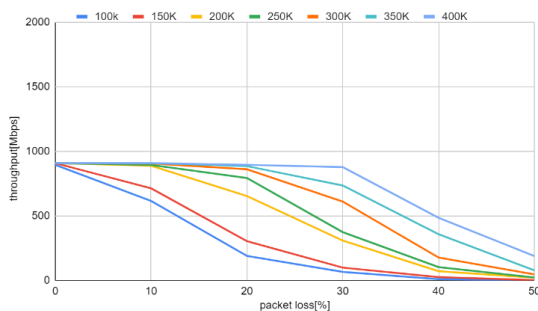


Figure 6. Throughput of TCP with varying packet loss rate

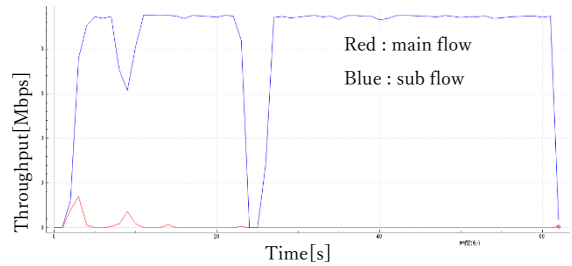


Figure 7. Throughput of MPTCTP (WS=50[kbyte],loss=50[%])

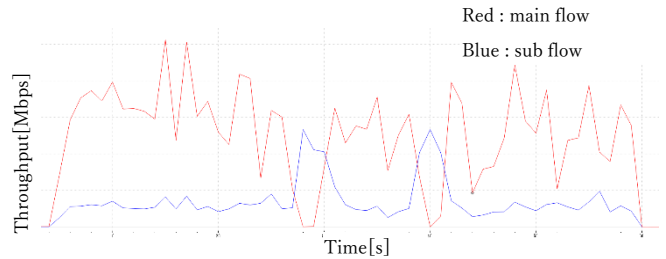


Figure 8. Throughput of MPTCTP (WS=50[kbyte],loss=20[%])

3. 考察

TCP の場合, 再送が発生すると輻輳制御により輻輳ウィンドウサイズが減少する。MPTCP の場合, メインフローに再送が発生し輻輳制御による輻輳ウィンドウサイズの減少が起こるとサブフローの輻輳ウィンドウサイズはメインフロー以上に減少し, スループットが大きく低下することが分かった。MPTCP の輻輳制御はフロー毎に独立ではなく, 一つのフローで再送が発生すると, 全フローで輻輳制御が働き, 特にサブフローの輻輳ウィンドウの減少が大きいと考えられる。

また, メインフローにパケットロスが発生した場合, パケットロス率が高いとサブフローがメインに通信し, 安定したスループットが得られる。しかし, パケットロス率が 20%前後の場合はメインフローとサブフローの負荷分散が理想的に行われず, 負荷分散のコストのため, 特にパケットロスが発生していないサブフローのスループットの減少が大きい。

以上のことから, メインフローに遅延やパケットロスが発生すると, サブフローのスループットも低下し全体のスループットも低下することが分かった。

4. まとめ

本論では, Linux 標準の MPTCP に関して, メインフローに遅延やパケットロスを発生しスループットを評価した。その結果, メインフローに遅延やパケットロスが発生すると, メインフローだけではなくサブフローのスループットの減少が大きくなることが明らかである。今後は, サブフローでも遅延やパケットロスを発生させスループットの評価を行い, 異なる品質の回線を使い MPTCP を行う場合, メインフロー, サブフローの設定をどうするかよいかの検討を行いたい。

参考文献

- [1] A. Ford, C. Raiciu, M. J. Handley, and O. Boanventure, "TCP Extensions for Multipath Operation with Multiple Addresses", RFC 6824, Jan. 2013.
- [2] 鈴東佑馬, 西村俊和, 毛利公一, 瀧本栄二, "輻輳ウィンドウサイズが MPTCP 負荷分散機能に与える影響," 信学技報, IN2019-76, March, 2020.