

# パケットロスを考慮した MPTCP の パケット分配スケジューリングの提案

板倉 貴也 指導教員：田 学軍

## 1 はじめに

近年、ネットワーク通信では TCP/IP 通信がよく用いられる。TCP は信頼性重視の通信を行うためのプロトコルで、1 つ経路を用いて通信を行うが、これを拡張した MPTCP (MultiPath TCP) では複数の経路 (以下サブフロー) を用いて通信を行うことができる。しかし、MPTCP では各サブフローの遅延差やパケットロスによってパケットの到着の順序の乱れ (アウト・オブ・オーダー) が発生することで、スループットの低下する問題が存在する。この問題を解消するためにパケット送信するサブフローの優先度を定めるパケット分配スケジューリングが存在する [1]。

本研究では遅延差に加え、パケットロスを考慮したパケット分配スケジューリングを提案し、シミュレーションソフト Riverbed にて従来手法との比較を行い、検証を行った。

## 2 従来手法

従来手法では遅延が小さいサブフローを優先的に選択するスケジューリング (LRF: Low-RTT-First スケジューラ) がある [2]。遅延が小さいサブフローを選択して送信を行い、輻輳ウィンドウの限界まで達したら次に遅延が小さいサブフローに送信するものである。この場合、サブフロー間で遅延差がある場合、アウト・オブ・オーダーの発生やキューの長さが大きくなる場合がある。その結果として通信時間が増加してしまう問題が発生する。

また先行研究 [3] では、サブフローの送信バッファからの出力から、受信側で受信完了するまでにかかる時間を算出するスケジューリングが提案されている。サブフロー間で遅延差がある場合はアウト・オブ・オーダーの発生を減少させることができる。しかしパケットロスが考慮されていないため、パケットロスが発生するネットワークでは再送処理により、実質的に帯域幅の減少する。そのため、アウト・オブ・オーダーの発生し、通信時間が増加してしまう問題が発生する。

## 3 提案手法

提案するパケット分配スケジューリングはサブフローの遅延差及びパケットロスに対する再送制御を考慮したスケジューリングである。これらを考慮した実質帯域幅  $B_{real}$  の式は以下の通りである。

$$B_{real} = \left( \frac{expect\_cwnd_i}{RTT_i} \times \left( 1 - \frac{\gamma}{100} \right) - \frac{expect\_cwnd_i}{RTT_i} \times \alpha \times \gamma \times \frac{expect\_cwnd_i}{PL} \right)$$

$expect\_cwnd_i$ : subflow<sub>i</sub>の輻輳ウィンドウサイズ  
 $RTT_i$ : subflow<sub>i</sub>の往復遅延時間  
 $\alpha$ : 再送完了までにかかる時間  
 $PL$ : subflow パケット長  
 $\gamma$ : パケットロス率 ( $0 < \gamma < 1$ )

次に示すグラフは MPTCP を用いた通信シミュレーションを行った結果である。横軸は時間 (s)、縦軸はアウト・オブ・オーダー・キュー長を表しており、従来手法 (LRF) と提案手法 (SDP) を比較したものである。

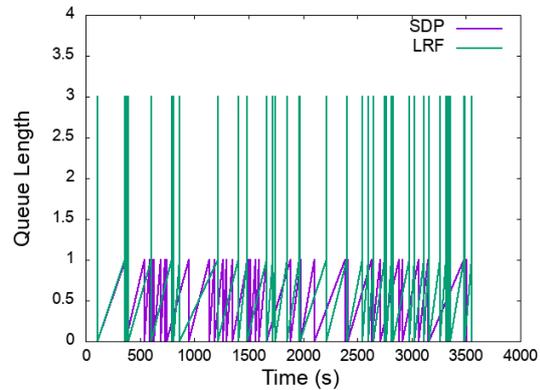


図1 時間あたりのアウト・オブ・オーダー・キュー長

グラフから従来手法に比べ提案手法の方が大幅な順序の乱れが少なくなっていることがわかる。

## 4 まとめ

ここまで MPTCP の課題や従来手法及び提案手法を示し、シミュレーションにより順序の乱れを減少を確認するという本研究の目的を達成することができた。

今後は、遅延時間の変化の度合い (ジッタ:jitter) に対応するような適切なパケットの分配ができるスケジューリングを実装することが課題となる。

## 参考文献

- [1] O. Bonaventure, C. Paasch, G. Detal, "Use Cases and Operational Experience with Multipath TCP," IETF RFC 8041, 2017.
- [2] R. Lubben, J. Morgenroth, "An Old Couple: Loss-Based Congestion Control and Minimum RTT Scheduling in MPTCP," IEEE 44th Conference on Local Computer Networks, 2019.
- [3] 及川 永寿, 中山 泰一, "遅延差の大きなネットワークにおけるマルチパス TCP パケット分配方式の提案", 電子情報通信学会, 2012.
- [4] 岩田 力輝, "MPTCP 環境におけるパケット分配スケジューリングの提案", 愛知県立大学卒業論文, 2022.