

# パケット廃棄による TCP 公平性の改善

秋山友理愛<sup>†</sup> 大浦亮<sup>‡</sup> 神津智樹<sup>†</sup> 山口実靖<sup>†‡</sup>

工学院大学工学部情報通信工学科<sup>†</sup> 工学院大学大学院工学研究科電気・電子工学専攻<sup>‡</sup>

## 1. はじめに

高遅延ネットワークで高い通信性能を提供できる TCP 輻輳制御アルゴリズムとして CUBIC TCP などの複数の高速 TCP が提案され、活用されている。これらの複数の高速 TCP の提案により、TCP 輻輳制御アルゴリズム間の公平性という新しい課題が生じ、公平性に関する研究が行われてきている。しかし、それらの多くがシミュレーションにより行われており、実 OS に搭載されている実 TCP 実装を用いての研究は少ない。

本稿では、代表的な高速 TCP として CUBIC TCP と Compound TCP を対象に、実 TCP 実装を用いてアルゴリズム間の公平性の評価を行い、両者の通信速度に不公平が生じることを示す。そして、パケットの廃棄を利用してネットワーク層にて公平性を向上させる手法について考察する。

## 2. 高速 TCP

本章にて、代表的な高速 TCP である CUBIC-TCP と Compound-TCP(CTCP)の紹介を行う。

CUBIC-TCP は BIC-TCP のスケラビリティを維持しながら、TCP-Fairness, RTT-Fairness, 制御手法の複雑さを改善した損失ベースの高速 TCP であり、バイナリサーチを用いて利用可能帯域を探索するアルゴリズムを、3 次関数を用いた制御によって実現している[1]。

CTCP は HyBrid 型の輻輳制御を行い、損失ベースの輻輳制御で動作する損失ウィンドウおよび、遅延ベースの輻輳制御で動作する遅延ウィンドウを用いて、ネットワークに送出するパケット数を調節する[2]。

## 3. RED

RED は待ち行列長に応じた確率でパケットの廃棄を行う方法である。ネットワーク上のルータにおいて RED を用いることにより通信性能やネットワーク負荷の安定化、コネクション間の公平性の改善が実現されると期待されている[3]。

## 4. 提案手法

ネットワーク利用率の高いコネクションのパケットを優先的に破棄し、既存の RED より高い精度の公平性を目指す手法を 2 つ(静的優先破棄手法と動的優先破棄手法)提案する。

静的優先破棄手法では、通信帯域を最も多く使っている端末がルータにとって既知であるという前提のもと、その端末によるコネクションの RED におけるパケットの破棄率を  $n$  倍にする。

動的優先破棄手法では、通信帯域を多く使っている端末はルータにとって既知でないという前提のもと、ルータが最も通信帯域を消費しているコネクションの推測を行い、そのコネクションのパケットの破棄率を  $n$  倍にして優先的に破棄する。

最も通信帯域を消費しているコネクションの推測は、以下の様に行う。ルータに到着するパケットの数が最も多いコネクションを、最も通信帯域の消費が大きいコネクションと仮定する。ルータにて記録周期  $rec\_int$  毎に到着 TCP パケットのコネクション情報を記録し、最新の  $hist\_len$  個のコネクション情報を履歴としてルータ内のメモリに保持する。そして、集計周期  $sta\_int$  毎に履歴中に最も多く存在するコネクションを算出し、それを最も通信帯域を消費しているコネクションとする。コネクション情報としては、送信元 IP アドレス、送信先 IP アドレス、送信元ポート番号、送信先ポート番号を保持する。

## 5. 評価

図 1 のネットワークを構築し、CTCP と CUBIC TCP が混在する環境における通信速度を netperf を用いて測定した。ネットワーク機器は全て 1Gigabit Ethernet 対応のものであり、ネットワークエミュレータと PC3 の間の通信速度はエミュレータにより 100Mbps に設定されている。PC1 では Windows7(CTCP)が動作し、PC2 では Linux 2.6.35.6(CUBIC-TCP)が動作している。PC1-PC3 の間と PC2-PC3 の間で netperf の接続を確立し、同時通信時の通信速度を測定した。両接続はネットワークエミュレータから PC3 までを共有している。

Fairness Improvement among Modern TCPs with Packet Dropping

Yuria AKIYAMA<sup>†</sup>, Ryo OURA<sup>‡</sup>, Tomoki KOZU<sup>†</sup>, Saneyasu YAMAGUCHI<sup>†‡</sup>

<sup>†</sup>Department of information and Communications Engineering, Kogakuin University

<sup>‡</sup>Electrical Engineering and Electronics, Kogakuin University Graduate School

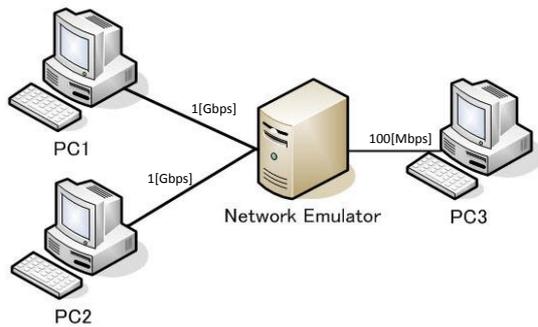


図1 ネットワーク構成

図2に同時通信環境における通常の packets 破棄(Tail drop), RED, 静的優先破棄, 動的優先破棄のCTCPとCUBIC CTPの通信速度比を, 図3にそれぞれの通信速度の合計値を示す。

図2より, REDにより得られる公平性は, Tail Dropと比較しての改善は見られるものの, 必ずしも高くないことが分かる。よって, TCPアルゴリズム間の帯域不公平の問題は, 単純にREDを適用したのみでは解決されず, 新しい手法の提案が必要であると考えられる。

両提案手法の公平性に着目すると, Drop TailやREDの公平性より優れていることが分かり, 提案手法が有効であることを確認できる。静的優先手法と動的優先手法の公平性を比較すると, 静的優先手法は往復遅延時間に依らず安定してスループットの比率が1に近いが, 動的優先手法は往復遅延時間の変化によりスループットの比率が変化し, 往復遅延時間が大きいとスループットの比率が悪化してしまっていることが分かる。このことから, 提案手法における最大帯域消費コネクションの推定は遅延時間が大きい場合に正確さが低下していると考えられる。

次に, 合計通信速度について考察する。往復遅延時間が小さい環境では, いずれの手法を用いてもほとんど合計通信速度の変化がなく, 提案手法はスループットの低下なく公平性の向上を実現していると言える。往復遅延時間が大きい環境において比較を行うと, 提案手法(静的優先破棄)の合計性能はREDの合計性能よりも高く, 帯域消費が大きいコネクションの推測を正確に行えれば提案手法はREDよりも高い公平性と高い性能の両方を実現できることが分かる。ただし, 必要最低限の packets 廃棄しか行わないTail Dropと積極的に packets 廃棄を行うREDや提案手法を比較すると, Tail Dropの方が合計性能が高く, 提案手法にはさらなる改善が望まれると言える。

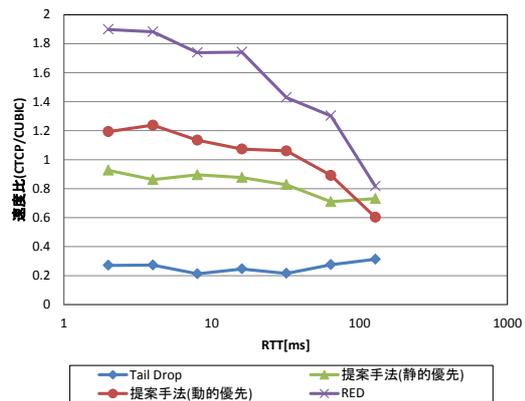


図2 同時通信時の速度比

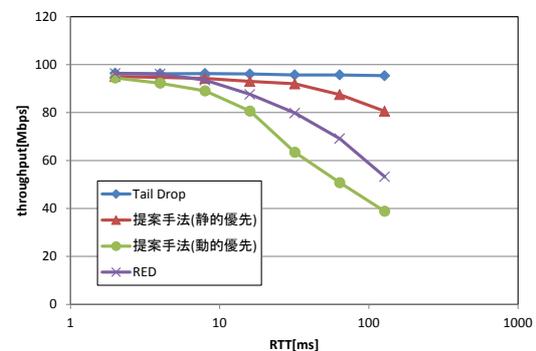


図3 同時通信時の合計速度

## 6. おわりに

本研究では, 高速 TCP アルゴリズム間の帯域公平性に着目し, その改善手法を提案した。また, 提案手法について実 TCP 実装を用いた評価実験により有効性を示した。

今後は, 多数の TCP コネクションが確立されている環境における評価, 他の TCP アルゴリズムを用いての評価などを行っていく予定である。

## 謝辞

本研究は JSPS 科研費 22700039, 24300034 の助成を受けたものである。

## 参考文献

- [1] Injong Rhee and Lisong Xu "CUBIC: A New TCP-Friendly High-Speed TCP Variant," Proc. Workshop on Protocols for Fast Long Distance Networks, 2005, 2005.
- [2] Kun Tan, Jingmin Song, Qian Zhang, and Murari Sridharan, "A Compound TCP Approach for High-speed and Long Distance Networks" Proc. IEEE Info COM 2005, July 2005.
- [3] S. Floyd and V. Jacobson, "Random early detection gateways for congestion avoidance," IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 1, pp. 397-413, Aug. 1993.