

# TCP 輻輳制御を考慮した高遅延高パケットロス率環境における HTTP/2 通信性能の向上

## HTTP/2 Performance Improvement Based on Adjusting TCP Congestion Control over High Latency High Packet Loss Ratio Network

小田 尚輝<sup>†</sup>      山口 実靖<sup>‡</sup>  
Naoki Oda      Saneyasu Yamaguchi

### 1. はじめに

インターネットにおける Web ページの転送プロトコルとして HTTP (Hyper Text Transfer Protocol) が広く使用されている。HTTP のバージョンとしては、これまでは HTTP/1.0[1]と HTTP/1.1[2]が使われることが多かったが、2015 年に HTTP/2[3][4]が文書化され、今後は HTTP/2 が使われることが多くなっていくと考えられる。HTTP/2 では HTTP/1.x の HoL(Head of Line)ブロッキング問題[5]を、ストリームとフレームを用いて単一コネクションにより解決する手法が採用されているが、コネクションが単一であることに起因する性能上の課題も指摘されている[6]。

本稿ではまず、単一コネクションの HTTP/2 の通信が多くの環境にて多コネクションの HTTP/1.1 の通信と同等の性能を提供できることと、高遅延高パケットロス率環境にて同等の性能を提供できないことを紹介する。また、HTTP/2 が高遅延高パケットロス率環境にて高い性能を提供できない理由が低い輻輳ウィンドウの値にあることを紹介する。そして、TCP 輻輳制御アルゴリズムの振る舞いと HTTP/2 転送性能の関係についての考察を行い、輻輳制御アルゴリズムの修正による HTTP/2 の転送速度の改善についての検討を行う。

### 2. HTTP/2

HTTP/2 は 2015 年 2 月 17 日に IETF に正式な仕様として承認され、同年 5 月に RFC 7540[3]として文章化された HTTP/1.1 と互換性を持つ Hypertext Transfer Protocol である。フレームとストリームを用いることにより、一つの TCP コネクションで複数のリクエストとレスポンスを並行に送受信することが可能となっている。文献[6]では、HTTP/2 は多くの環境にて複数の TCP コネクションを用いる HTTP/1.1 の通信と同等の性能が提供できることが示されている。また、TCP コネクションを 1 本しか用いないため、高遅延高パケットロス率環境においてはパケットロスによる輻輳ウィンドウの低下により性能が大きく劣化することも確認されている。

### 3. CUBICTCP

CUBIC TCP[7]は、Linux 2.6以降の Linux にて標準で用いられている輻輳制御アルゴリズムである。輻輳検出時の輻輳ウィンドウサイズを  $W_{max}$  とすると、輻輳検出時に式(1)に従い輻輳ウィンドウサイズを縮小させる。  $\beta$  は 0 より大きく 1 よりも小さい値である。

$$cwnd \leftarrow W_{max} (1 - \beta) \quad (1)$$

$\beta$  を調整することにより、パケットロス検出時の輻輳ウ

<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>工学院大学 情報学部 情報通信工学科



図1 ネットワーク構成

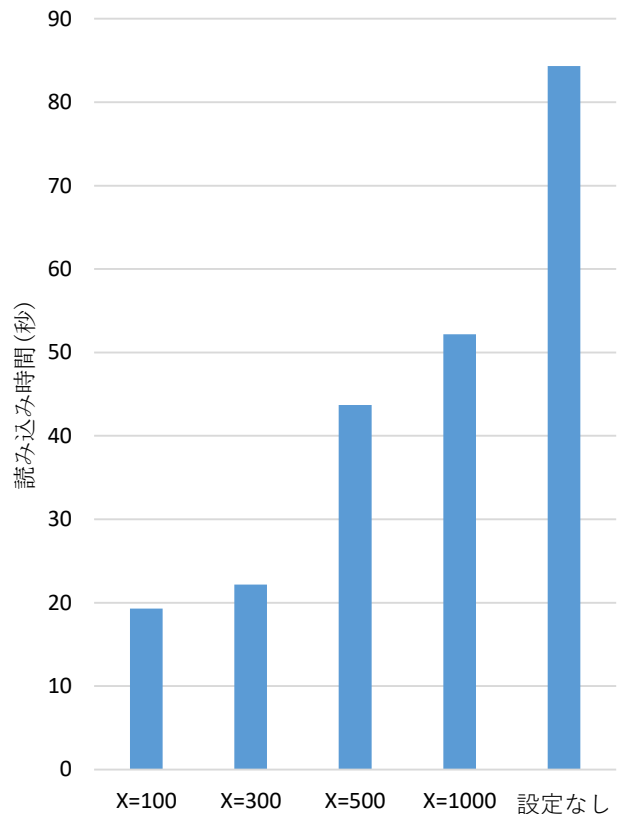


図2 輻輳ウィンドウと読み込み時間の関係

ィンドウサイズの減少量を抑えることが可能となる。

### 4. 輻輳ウィンドウと読み込み速度の関係

本章にて、輻輳ウィンドウの値と HTTP/2 によるウェブページの読み込み時間の関係について調査する。

#### 4.1 測定方法

図1のように実験用ネットワークを構築し、HTTP/2 による通信性能を評価した。図のサーバ PC 上に HTTP サーバを稼働させ、クライアント PC 上で Web ブラウザを実行し、サーバ PC からクライアント PC にファイルを転送し

読み込み時間を測定した。クライアント PC とサーバ PC の間にはブリッジ PC を配置し、ブリッジ PC にて人工的に転送遅延時間やパケットロスを発生させた。

Web サーバ上には、12 個の 2.5MB の画像ファイルと、全ての画像ファイルを含む Web ページ(HTML ファイル)が格納されており、測定では Web ブラウザにて当該 Web ページの URL を指定して開き全ての画像ファイルを転送させ、その時間を計測した。

測定は、通常の Linux カーネルと、輻輳ウィンドウの値が X に到達したときに強制的に輻輳ウィンドウの値を 3000 に増加させるように修正した調査用カーネルで行い、輻輳ウィンドウ値と読み込み性能の関係を調査した。

実験環境は以下の通りである。RTT は 64 ミリ秒、ランダムパケットロス率は 0.1%とした。Web サーバには Apache 2.4.18 を使用した。HTTP/2 サーバは、Apache の mod\_http2 を用いて nghttp2\_1.11.1 を起動することにより実現した。クライアント PC の OS の広告ウィンドウサイズは 16MB (window scaling=8)であり、サーバ PC の OS の最大輻輳ウィンドウサイズは 16MB とした。

## 4.2 測定結果

図 2 に測定結果を示す。縦軸は読み込み時間であり、1 つ目の画像ファイルの転送開始時刻から最後の(12 個目の)ファイルの転送終了時刻までの時間である。時刻、時間はクライアント PC 上で測定した。測定の結果から、X の値が小さく早い段階で輻輳ウィンドウの値を増加させるほど読み込み速度が向上することがわかり、性能向上には輻輳ウィンドウ低下の抑制が重要であることが分かる。

## 5. CUBICTCP の $\beta$ と読み込み速度の関係

本章にて CUBIC TCP[7]の  $\beta$  の値と読み込み速度の関係を示す。Linux カーネルにおける CUBIC TCP の  $\beta$  の値を初期設定値よりも増加させた場合と初期設定の場合におけるウェブページの読み込み時間を測定した。それ以外は 3.1 の測定方法と同じである。使用した Linux カーネル 4.2.3 の  $\beta$  の初期設定値は 0.3 である。

測定結果を図 3 に示す。測定の結果から、 $\beta$  の値が 0.02, 0.1 のときは初期設定値である 0.3 のときより読み込み速度が向上していることがわかる。ただし、 $\beta$  の値が 0.2 の場合には読み込み速度は低下しており、性能向上には適切な  $\beta$  のチューニングが必要であることがわかる。

ただし、本章では検証のために実験用ネットワークにて非常に大きい  $\beta$  の値を用いて実験を行ったが、これら値の使用は輻輳制御機能としては適切でないことも考えられ、実ネットワークにおいて適用するには性能向上と輻輳制御の両方の考慮が必要となると考えられる。

## 6. おわりに

本研究では、HTTP/2 を用いた通信は高遅延高パケットロス率環境において HTTP/1.1 の複数コネクション通信と同等の性能を提供できないことと、その原因がパケットロスによる輻輳ウィンドウの低下であることに着目し、輻輳ウィンドウと HTTP/2 通信速度の関係について考察した。そして、輻輳ウィンドウ値や CUBIC TCP の  $\beta$  の値を変更することにより読み込み性能を変化させることが可能であることを示した。今後は、ネットワーク輻輳の制御を考慮

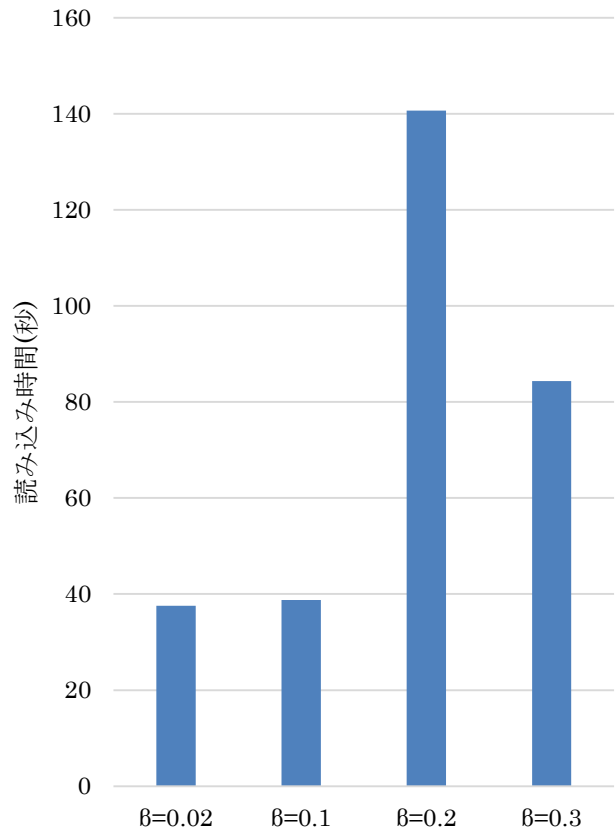


図 3  $\beta$  の値と読み込み時間の関係

した HTTP/2 読み込み速度向上手法について考察する予定である。

## 謝辞

本研究は JSPS 科研費 26730040, 15H02696, 17K00109 の助成を受けたものである。

本研究は、JST, CREST JPMJCR1503 の支援を受けたものである。

## 参考文献

- [1] RFC1945 Hypertext Transfer Protocol -- HTTP/1.0, <https://tools.ietf.org/html/rfc1945>
- [2] RFC2616 Hypertext Transfer Protocol -- HTTP/1.1, <https://tools.ietf.org/html/rfc2616>
- [3] RFC7540 Hypertext Transfer Protocol Version 2 (HTTP/2), <https://tools.ietf.org/html/rfc7540>
- [4] H. de Saxcé, I. Oprescu and Y. Chen, "Is HTTP/2 really faster than HTTP/1.1?," 2015 IEEE Conference on Computer Communications Workshops(INFOCOM WKSHPs), Hong Kong, 2015, pp. 293-299.<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/downloadCitations>
- [5] K. J. Grinnem Grinnem, T. Andersson and A. Brunstrom, "Performance Benefits of Avoiding Head-of-Line Blocking in SCTP," Joint International Conference on Autonomic and Autonomous Systems and International Conference on Networking and Services - (icas-ins'05), Papeete, Tahiti, 2005, pp. 44-44.
- [6] 小田尚輝,山口実靖, "高遅延高パケットロス率環境におけるコネクションを考慮した HTTP/2 通信性能の向上に関する一考察", 電子情報通信学会 信学技報, vol. 116, no. 484, NS2016-213, pp. 319-324, 2017年3月.
- [7] Injong Rhee and Lisong Xu "CUBIC: A New TCP-Friendly HighSpeedTCP Variant," Proc. Workshop on Protocols for Fast Long Distance Networks, 2005