インターネットにおけるルータ間の輻輳伝播に関する一考察

A Study on Congestion Propagation among Routers in the Internet

奥村 治 [1] 大崎 博之 [2] 今瀬 眞 [2]
Osamu Okumura Hiroyuki Ohsaki Makoto Imase

大阪大学 基礎工学部 情報科学科 [1]
School of Engineering Science, Department of Information and Computer Sciences, Osaka University
大阪大学 情報科学研究科 [2]
Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

1 はじめに

近年、インターネットにおけるルータ間で、輻輳の伝播現象が観測されることが報告されている [1]。文献 [1] では、シミュレーション実験により、リング型ネットワークにおけるルータ間の輻輳伝播を調査している。しかし、どのような条件下で輻輳伝播が発生するかは、これまで明らかにされていない。

そこで本稿では、シミュレーション実験により、リング型ネットワークにおいて、輻輳伝播が発生する条件を明らかにする。具体的には、エンドホストおよびルータの輻輳制御や、ホストおよびネットワークのパラメータがどのような条件の時に、輻輳伝播が発生するのか、また、輻輳伝播の特性がどのように変化するのかを明らかにする。

2 シミュレーションモデル

本稿では、文献 [1] と同様に、シミュレーションモデルとして、N 台の DropTail ルータが接続されたリング型ネットワークを用いる (図 1)。各ルータは単方向リンクによって接続されている。また、i 番目のルータから、$i-1$ 番目のルータに向けて、TCP Tahoe コネクションが連続的にデータ転送を行う。シミュレーションでは、特に断りのない限り、以下のパラメータを用いた : ルータ数 $N = 10$、リンクの帯域 $B = 10$ [Mbit/s]、リンク伝搬遅延 $\tau = 31$ [msec]、ルータのバッファサイズ $L = 300$ [packet]、パケットサイズ $S = 552$ [byte]。

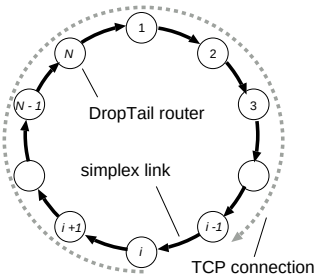

図 1 シミュレーションモデル

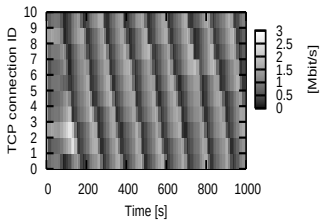

図 2 TCP コネクションのスループットの時間的変動 ($B = 10$ [Mbit/s])

3 シミュレーション結果

まず、文献 [1] と同じパラメータ設定を用いた時の、各 TCP コネクションのスループットの時間的変動を図 2 に示す。この図より、すべての TCP コネクションのスループットが周期的に変化していることが分かる。また、スループットの周期的な変化が、j 番目の TCP コネクションから、$j-1$ 番目の TCP コネクションへと伝播している (つまり、輻輳が i 番目のルータから、$i-1$ 番目のルータに伝播している) ことが分かる。

次に、リンクの帯域を $B = 1$ [Mbit/s] と変化させた時のシミュレーション結果を図 3 に示す。図 2 ($B = 10$ [Mbit/s]) と図 3 ($B = 1$ [Mbit/s]) を比較すると、リンクの帯域が小さくなっても、TCP コネクションのスループットは周期的に変化している (つまり、輻輳伝播が発生している) が、その周期が約 3 倍に大きくなっていることが分かる。紙面の都合上結果は省略するが、ルータ数を増やした場合、リンクの伝搬遅延を大きくした場合、ルータのバッファサイズを大きくした場合にも、同様に周期が大きくなっていた。これらはすべて、TCP コネクションのラウンドトリップ時間が増加し、その結果、輻輳伝播の周期が大きくなっているためと考えられる。

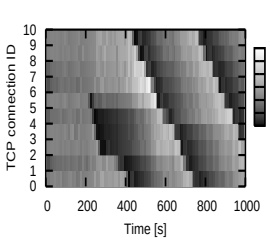

図 3 TCP コネクションのスループットの時間的変動 ($B = 1$ [Mbit/s])

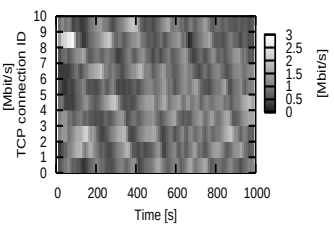

図 4 TCP コネクションのスループットの時間的変動 (TCP にランダム性を加えた場合) ($B = 10$ [Mbit/s])

最後に、TCP コネクションにランダム性を加えた時の結果を、図 4 に示す。TCP のフェーズ効果を防ぐため、TCP のパケット転送ごとに、0 ~ 0.1 [s] だけの遅延をランダムに加えた。図 4 より、TCP にランダム性を加えることにより、TCP コネクションのスループットの周期性が弱まっていることが分かる。これはつまり、ネットワークのランダム性が高い環境では、輻輳伝播が発生しにくいということを意味している。なお、紙面の都合上結果は省略するが、ルータを DropTail から RED に変更した場合、TCP Tahoe を TCP Vegas に変更した場合も、同様に TCP コネクションのスループットの周期性が弱まっていた。

参考文献

[1] J. Steger, P. Vaderna, and G. Vattay, “On the propagation of congestion waves in the Internet,” *Physica A*, vol. 359, pp. 784–792, Jan. 2006.