

伝搬遅延の異なる複数のフローを考慮した XCP の安定性解析

Stability Analysis of XCP Connections with Different Propagation Delays

作元 雄輔¹
Yusuke Sakumoto

大崎 博之²
Hiroyuki Ohsaki

今瀬 眞²
Makoto Imase

大阪大学 基礎工学部 情報科学科¹
Department of Information and Computer Sciences, School of Engineering Science, 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

広帯域ネットワークを十分に利用できないという、TCP の問題点を解決するために、XCP (eXplicit Control Protocol) が提案されている [1]。これまで、文献 [1] において、XCP の安定性が解析されているが、すべての XCP フローの伝搬遅延が等しいモデルのみを解析している。しかし、実際のネットワークにおいては、各 XCP フローの伝搬遅延はそれぞれ異なる。そこで本稿では、流体近似法を用いて、伝搬遅延の異なる複数の XCP フローが存在するネットワークをモデル化し、XCP の安定性を解析する。

2 XCP の流体近似モデル

伝搬遅延の異なる複数の XCP フローが、単一の XCP ルータに収容されているネットワークを、離散時間システムとしてモデル化する。XCP フローを、伝搬遅延の違いによって、フロークラスと呼ばれるクラスに分類する。フロークラス i ($1 \leq i \leq M$) に含まれる XCP フローの伝搬遅延を τ_i 、フロー数を N_i とする。本稿で用いる記号の定義を、表 1 に示す。

k 番目のスロットにおける、フロークラス i に含まれる XCP フローの転送レート $r_i(k)$ 、XCP ルータのキュー長 $q(k)$ は、それぞれ次式で与えられる。

$$\begin{aligned} r_i(k+1) &= r_i(k) + \Delta \frac{[\phi(k - \frac{R_i}{\Delta})]^+ + h(k - \frac{R_i}{\Delta})}{N_1 + N_2} \\ &\quad - \Delta \frac{r_i(k - \frac{R_i}{\Delta})}{A(k - \frac{R_i}{\Delta})} \left([-\phi(k - \frac{R_i}{\Delta})]^+ + h(k - \frac{R_i}{\Delta}) \right) \\ q(k+1) &= q(k) + \Delta(A(k) - C) \end{aligned}$$

ここで、 $[x]^+ \equiv \max(x, 0)$ であり、 $h(k)$ 、 R 、 $\phi(k)$ 、 $A(k)$ は、XCP ルータのシャッフルレート [1]、平均ラウンドトリップ時間、全 XCP フローのレート変化量、XCP ルータへのパケット到着レートであり、それぞれ次式で与えられる。

$$\begin{aligned} h(k) &= \frac{\gamma}{d} A(k) \\ R &= \frac{\sum_{i=1}^M N_i \tau_i}{\sum_{i=1}^M N_i} \\ \phi(k) &= \frac{\alpha}{d} (C - A(k)) - \frac{\beta}{d^2} q(k) \\ A(k) &= \sum_{i=1}^M N_i r_i(k) \end{aligned}$$

表 1 記号の定義

C	ボトルネックリンクの帯域
τ_i	フロークラス i の伝搬遅延
N_i	フロークラス i のフロー数
$r_i(k)$	フロークラス i のスルーput
$q(k)$	XCP ルータの現在キュー長
Δ	単位スロット時間
α, β, γ	XCP ルータの制御パラメータ [1]

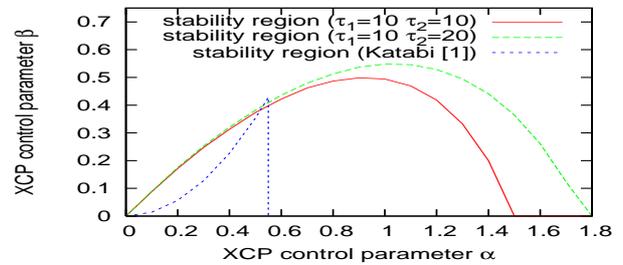


図 1 XCP の制御パラメータ (α, β) の安定領域 ($C = 400$ [Mbit/s], $\tau_1 = 10$ [ms], $\tau_2 = 10, 20$ [ms], $N_1 = N_2 = 10$, $\gamma = 0.1$, $\Delta = 1$ [ms])

3 安定性解析

XCP の流体近似モデルに対して、文献 [2] と同様の解析手法を用いることにより、XCP の安定性解析が可能となる。図 1 に、安定性解析の結果を示す。XCP の制御パラメータ (α, β) が、安定領域内 (図中の曲線の下側) にあれば、システムは安定となることを意味している。参考のため、図中には、文献 [1] で導出されている安定領域 (すべての XCP フローの伝搬遅延が等しい場合に、ナイキスト定理を用いて導出した安定領域) もあわせて示している。この図より、(1) XCP フローの伝搬遅延が等しい場合、文献 [1] の安定領域よりも、より広い範囲でシステムが安定する (制御パラメータの選択の幅が広い) こと、(2) XCP フローの伝搬遅延が異なる場合、システムがより安定となる傾向がある (安定領域が広がる) ことが分かる。

参考文献

- [1] D. Katabi, M. Handley, and C. Rohrs, "Congestion control for high bandwidth-delay product networks," in *Proceedings of ACM SIGCOMM 2002*, Aug. 2002, pp. 89–102.
- [2] H. Hisamatsu, H. Ohsaki, and M. Murata, "Fluid-based analysis of network with DCCP connections and RED routers," in *Proceedings of IEEE SAINT 2006*, Jan. 2006, pp. 156–163.