

利用帯域幅割り当てを行う TCP フロー制御の提案 Proposal of TCP Flow Control using Bandwidth Assignment

工藤 智子†‡ 武田利浩‡ 平中幸雄‡
Tomoko Kudo Toshihiro Taketa Yukio Hiranaka

1. はじめに

TCP フロー制御は、パケットロスや RTT の値で、ネットワークの負荷状況を間接的に推定しているため、過負荷や効率低下が発生しやすい。また、高遅延環境下の通信では、帯域の利用効率が低下するため、遅延の大小によってフロー間の帯域利用に差が生じる。帯域利用効率の向上と、各フロー間の帯域利用の公平性を向上させる各種制御手法が検討されているが、全てのルータの対応といった実現上困難な点も見られる。本研究報告では、より実現可能な手段を検討し、中継機器の利用可能帯域の値を TCP NewReno の最大ウィンドウサイズの設定に利用する制御手法を提案し、シミュレーションで評価した結果を報告する。

2. 従来の方法

TCP はウィンドウサイズを用いたフロー制御を行っている。ネットワークの輻輳状態に応じて輻輳ウィンドウサイズ $cwnd$ (congestion window) を制御する。

CUBIC 1)は、パケットロスにより輻輳を検知し、 $cwnd$ を制御する。 $cwnd$ の値は、当初指数的に増加するが、パケットロスが起こりうるときには $cwnd$ の変化を緩やかにすることで、高速な輻輳制御を実現している。FAST TCP 2)は、RTT を用いて $cwnd$ を制御する。事前にボトルネックの情報を設定しなければならず、リアルタイムに制御するには、より直接的な制御手法の提案が必要である。すなわち、RTT やパケットロスなど間接的な輻輳の判断には限界があり、輻輳の状況を直接的に制御に用いるクロスレイヤ手法が必要である。XCP 3) (eXplicit Control Protocol) はクロスレイヤ手法を用いた TCP フロー制御手法を提案している。ECN (Explicit Congestion Notification) を一般化した手法で、途中の中継機器 (XCP ルータ) が帯域余裕を算出し、フィードバック値を挿入する。このパケットを受信した送信元は、フィードバック値を利用し、ウィンドウサイズを制御する。XCP はフィードバックによる制御手法を利用しているため、制御パラメータの値によっては、安定性の問題が発生するという問題点がある。また、中継機器とトランスポートプログラム双方の変更が必要という実現性の問題がある。

3. 提案手法の概要

本研究では、ボトルネックリンクにおける利用可能帯域幅をウィンドウサイズの制御に用いるクロスレイヤフロー制御 (Cross-Layer Bandwidth Assignment: 以下 XLBA と略記する) を提案する。

XLBA は、ボトルネックの検出とその利用可能帯域幅の情報を送信するため、各リンクに監視エージェントを配置

する。また、監視エージェントからの情報を受信し、TCP 最大ウィンドウサイズを設定するフロー制御エージェントを配置する。図 1 にエージェントの構成を示す。

監視エージェントはバッファの状態を監視し、輻輳状態であると判断した場合、すなわち、バッファサイズの利用率が通知しきい値 $x\%$ を超えた際には、リンクの帯域幅 $BW[bps]$ と TCP フロー数: F をフロー制御エージェントに通知する。

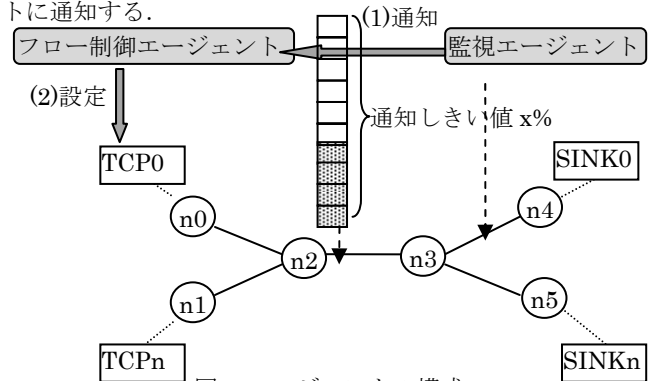


図 1 エージェントの構成

通知を受けたフロー制御エージェントは、TCP フローの最大ウィンドウサイズ (1) を設定する。

$$MAXwindow size[packet] = \frac{baseRTT [sec] * BW [bps]}{F * Packetsize [bit]} + 1 \quad (1)$$

また、輻輳を通知したリンクの監視エージェントは、TCP フロー数が減少した際には、輻輳が緩和したと判断し、 BW, F をフロー制御エージェントに通知する。

TCP フローは、AIMD アルゴリズムの TCP NewReno で動作し、本提案手法では最大ウィンドウサイズが設定される。中継機器の対応は必要であるが、トランスポートプログラムの最大ウィンドウサイズの計算箇所の変更という形で実現性の向上をはかる。

3. シミュレーション

シミュレーションは、NS-2 を用いて行った。XLBA は、NS-2 の TCP New Reno を拡張して作成した。シミュレーショントポロジは、一般的なダンベル構造とし、図 2 のトポロジを利用してシミュレーションを行った。

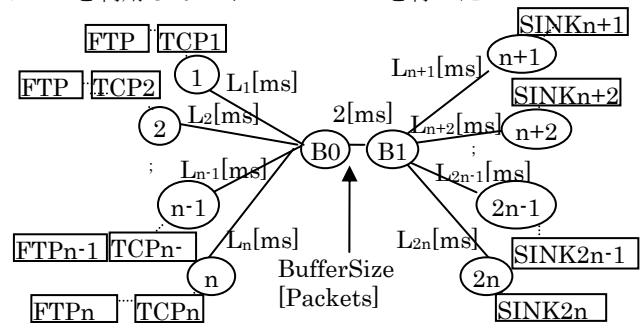


図 2 シミュレーショントポロジ

† 山形県立産業技術短期大学校

‡ Yamagata College of Industry and Technology

‡ 山形大学 Yamagata University

4.1 XLBA の動特性

XLBA の基本的な動特性をみるため、図 2 において $n=2$ とし、各リンクの帯域幅を 100M[bps]、遅延時間を表 1 に示す (a) ~ (d) に設定し、シミュレーションを行った。

表 1 リンクの遅延時間[ms]

	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄
(a) TCP1,2 baseRTT 12ms	2	2	2	2
(b) TCP1,2 baseRTT 44ms	10	10	10	10
(c) TCP1 baseRTT 12ms TCP2 baseRTT 44ms	2	10	2	10
(d) TCP1 baseRTT 44ms TCP2 baseRTT 12ms	10	2	10	2

また、シミュレーションシナリオは、図 3 のように 5 秒ごとフロー数が切り替わる状況とした。TCP1→SINK1, TCP2→SINK2 と TCP フローが発生する。

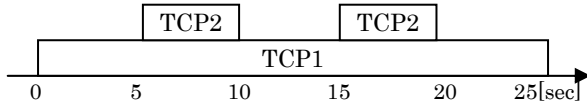
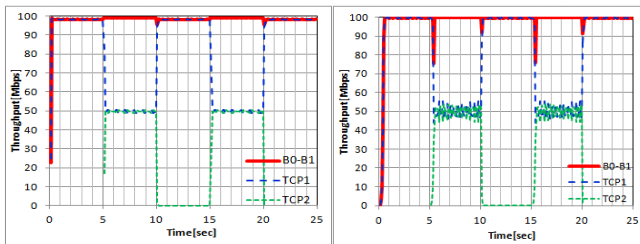
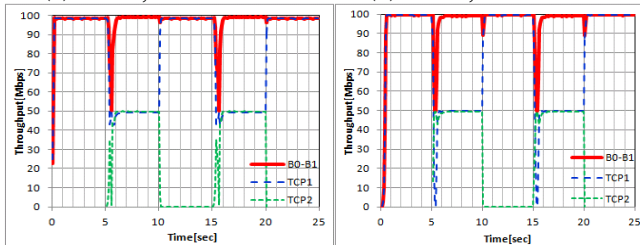


図 3 シミュレーションシナリオ



(a) TCP1,2 baseRTT 12ms

(b) TCP1,2 baseRTT 44ms



(c) TCP1 12ms TCP2 44ms

(d) TCP1 44ms TCP2 12ms

図 4 XLBA の動特性

図 4 にノード B0-B1 間と TCP1,2 の各スループットを示す。XLBA は目標値への到達が即座に行われ、(a) ~ (d) の遅延時間の違いによらず、フロー数に応じて、各フローのスループットが公平となるよう制御が行われている。

4.2 実ネットワークのスループットと公平性

実際のネットワーク環境における各 TCP アルゴリズムによるフローの公平性とスループットを比較する。図 2 のトポロジにおいて、フロー数 $n=200,500$ 、各リンクの帯域幅を 1G[bps]、遅延時間 $L_1..L_n$ [ms]は 10-50[ms]の一樣変数で決定する。全体のシミュレーション時間を 30[sec]とし、各フローの継続時間を 1-5[sec]、発生開始時間を 0-30[sec]の間での一様乱数で決定した。TCP NewReno, CUBIC, FAST TCP, XLBA(通知しきい値 10%), XCP のノード B0-B1 間のスループットと各 TCP フローの公平性を比較した。(図 5)

(1)スループット (Throughput)

TCP フローのスループットは測定回数 m で平均して求めた。

$$\bar{x}_i = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m x_i(k) \quad (2)$$

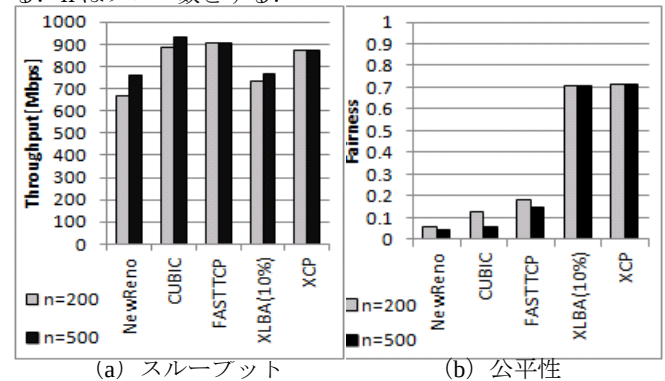
帯域の利用効率が高い場合、式 (2) が大きい。

(2) 公平性 (Fairness)

[4]の定義による公平性の指標を利用し、評価した。

$$F = \frac{(\sum_{i=1}^n \bar{x}_i)^2}{(n \sum_{i=1}^n \bar{x}_i^2)} \quad (3)$$

$F=1$ に近いと、各 TCP フローのスループットは公平である。 n はフロー数とする。



(a) スループット

(b) 公平性

図 5 スループットと公平性の比較

スループットを比較すると、帯域利用率が高いのは CUBIC, FAST TCP, XCP であり、TCP NewReno が低い。XLBA も、輻輳を抑える方に働き、帯域利用率が低かった。しかし、公平性を比較すると、NewReno CUBIC,FAST TCP は非常に低く、特定のフローだけが帯域を独占し、公平性が著しく低下した。

5. まとめと今後の課題

本研究報告では、利用可能帯域幅をウィンドウサイズの設定に用いるクロスレイヤフロー制御 XLBA を提案し、シミュレーションで評価した。

XLBA は、利用可能帯域の値を TCP NewReno の最大ウィンドウサイズの設定に利用するという制御手法で XCP のもつ実現性の問題を解決し、帯域利用率と公平性両方を向上することを目指している。XLBA の帯域利用率は検討の余地があり、利用可能帯域の再割り当ての方法を現在検討中である。

参考文献

- [1]I. Rhee and L. Xu, "CUBIC:A TCP-Friendly High-Speed TCP Variant,PFLDnet, Lyon, France 2005.
- [2]D. X. Wei, C. Jin and S. H. Low : " FAST TCP: Motivation Architecture, Algorithms, Performance " , IEEE /ACM Transactions on Networking 14 (6) :1246-1259.Dec 2006
- [3]D. Katabi, M. Handley and C.Rohrs:"Congestion Control for High Bandwidth - Delay Product Networks" , SIGCOMM'02, August19-23, 2002, Pittsburgh, Pennsylvania, USA.
- [4]Jain, R., Chiu, D.M. and Hawe, W.: A Quantitative Measure of Fairness and Discrimination for Resource Allocation in Shared Systems, DEC Research Report TR-301 (1984).