

クロスレイヤ TCP 制御におけるトラフィックシェーピング

Traffic Shaping on Cross-layer TCP Control

平田智司[†] 工藤智子^{**} 武田利浩[‡] 平中幸雄[‡]

Tomoshi Hirata Tomoko Kudo Toshihiro Taketa Yukio Hiranaka

1. まえがき

TCP の輻輳制御では、パケットロスなどを使って、ネットワークの負荷状況を間接的に推定しているため、制御が適切に行えないことが多く、過負荷や効率低下が発生しやすい。そこで、中継機器から負荷状況に応じて TCP 送信元に制御をかけるクロスレイヤ制御を研究している。これまでに、基本的な効果の確認はできた[1, 2]が、通信の往復遅延時間の増加とともに、輻輳ウィンドウサイズが増大し、制御が困難な場合があることも分かってきた。そこで、トラフィックシェーピングを採用して、TCP レート制御を行う方法について、シミュレーション実験を行った。その制御方法と、得られた結果について報告する。

2. 研究目的

本研究で用いるクロスレイヤ制御は、上川原ら[2]が提案したものを前提としている。その提案では、中継機器のバッファ量が一定量を超えたら送信側 TCP 層に通知をし、輻輳ウィンドウサイズ (cwnd) を下げるといったものである。パラメータとして「中継ノードが輻輳を通知するバッファ使用量の閾値」と「送信側 TCP での輻輳ウィンドウの下げ幅」があり、ネットワーク状況に応じた値を計算して、輻輳制御を行う。

しかし、送受信間の往復遅延時間 (RTT) が大きいときに、クロスレイヤ制御の効果が低下するという問題があった。その原因として、cwnd が RTT に比例して大きく設定されるために、RTT が大きいと、中継機器のバッファサイズを一時的にオーバーするトラフィックを流すことが考えられる。この現象を抑制するため、クロスレイヤ制御にレート制御を取り入れた構成 (図 1) を実験評価する。

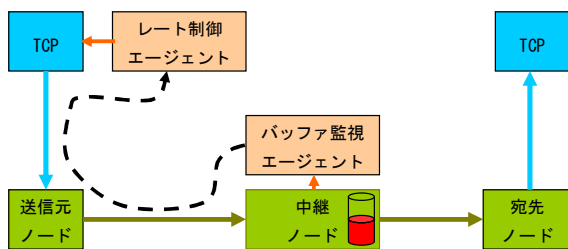


図 1 クロスレイヤフロー制御

バッファ監視エージェントがバッファ使用量を監視し、閾値を越えれば、送信側 TCP に通知して送信レート制御

† デザインネットワーク Design Network Co., Ltd.

‡ 山形大学 Yamagata University

* 山形県立産業技術短期大学校

Yamagata College of Industry and Technology

を行わせる。通知は、TCP の通信内にレート制御エージェント用メッセージを設定して行うことを想定している。

3. レートの決定と制御

ボトルネックリンクを利用するトラフィック (フロー) は複数存在するとき、個々のトラフィックの使用帯域 (レート) を決める必要がある。公平性の観点から、中継ノードでフロー数のみ測定し、すべてのトラフィックについて、(1) 式の値を送信レートとして、バッファ監視エージェントからレート制御エージェントへ通知する。

$$\text{送信レート} = \frac{\text{リンク容量}}{\text{リンクを通るフロー数}} \cdots (1)$$

その結果、各送信側 TCP でのパケットの送信間隔を (2) 式で決定することになる。

$$\text{送信間隔} = \frac{\text{パケットサイズ}}{\text{送信レート}} \cdots (2)$$

4. NS2 によるシミュレーション

4.1 NS 2 での実装

提案方法を NS2[3] に実装するため、クロスレイヤ通信を行う部分である「バッファ監視エージェント」と、「レート制御エージェント」を作成した。「レート制御エージェント」は、NS2 の「TCP エージェント」を改造し、通知された送信レートになるよう、(2) 式のようにパケット送信間隔を調整し、トラフィックシェーピングを行う。

4.2 シミュレーション条件

シミュレーションに用いたネットワークトポロジを図 2 に示す。送信ノード n0、n1、n4 がそれぞれ中継ノード n2 を通り、受信ノード n3 に対し TCP 通信を行う。

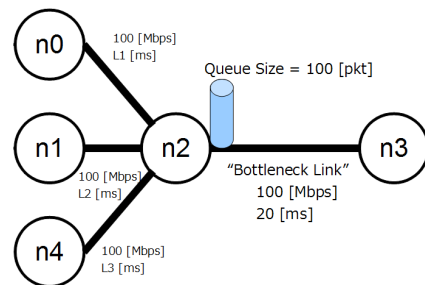


図 2 シミュレーション・トポロジー

ここで、n2-n3 をボトルネックリンクとして評価対象とした。すべてのリンク容量を 100 [Mbps] とし、全フロ

一のパケットサイズを 1 [KB]、ボトルネックリンクの遅延を 20 [ms]、最大キューサイズを 100 パケットとした。残りのリンクのバッファサイズ・受信ノードの告知ウィンドウサイズ(rwnd)は、十分に大きくした。遅延時間については、以下の 4 条件を用い実験を行った。

条件 A : $L1 = L2 = L3 = 1$ [ms]

条件 B : $L1 = L2 = L3 = 10$ [ms]

条件 C : $L1 = L2 = L3 = 100$ [ms]

条件 D : $L1 = 10$ [ms], $L2 = 20$ [ms], $L3 = 30$ [ms]

条件 A~D それぞれについて、「通知閾値」をボトルネックリンクのバッファサイズ(最大キューサイズ)に対し 10%刻みで変化させ、先行研究と比較検証した。

4.3 ミュレーション結果

シミュレーションでは、レート制御とウィンドウ制御のシミュレート結果を、通知を出すバッファ量(通知閾値)とボトルネックリンクの帯域幅利用率の関係で比較した。

条件 A、B では先行研究同様、制御により帯域を 100% 近く使い切ることができた。図 3 に条件 B での結果を示す。本手法による制御のほうがわずかに下回っているが、これは利用率を 100% 丁度になるようレート設定すると、ほんのわずかな送信量変化があるだけでパケット損失を起こしてしまうため、5%程度のマージンを取ってレート設定しているためである。

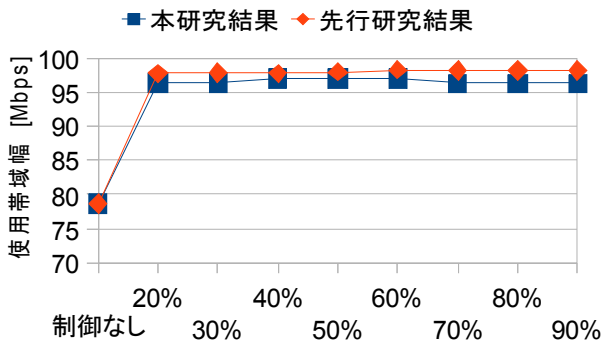


図 3 条件 B でのバッファ閾値対スループット (%)

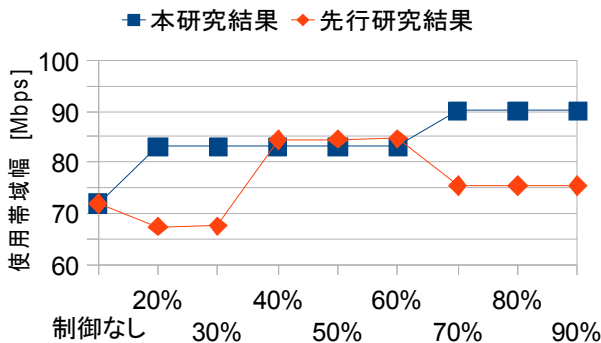


図 4 条件 C でのバッファ閾値対スループット (%)

条件 C (図 4) では、先行研究の手法では通知閾値の設定値が大きすぎても小さすぎてもスループットが悪化し

ていた。しかし本研究手法により、100%までは使えていないが概ね改善することができた。遅延時間にばらつきのある条件 D (図 5) では、先行研究結果とほぼ変わらず、制御なしのスループットより向上しているが通知閾値によって結果に変動が生じた。

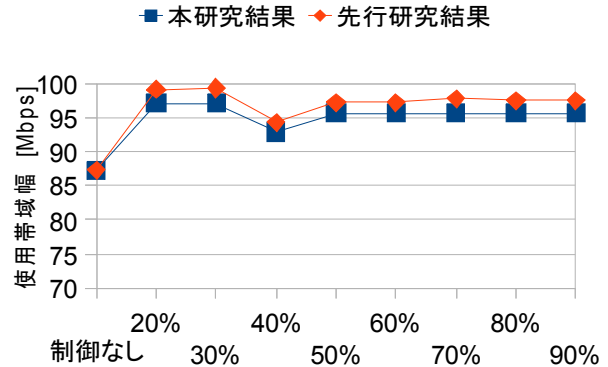


図 5 条件 D でのバッファ閾値対スループット (%)

遅延時間の短いフロー(条件 A、B、D)では、クロスレイヤ通信を用いた輻輳制御が有効という結果となったが、ウィンドウ制御とレート制御による差は特に見られなかった。遅延時間の大きいネットワーク(条件 C)では、レート制御を用いることで利用率に改善が見られた。特に通知閾値の設定値が小さい場合と大きい場合について、有効性が高いという結果となった。

5. まとめ

クロスレイヤ通信を利用しても解決できていなかった遅延時間の大きなネットワークにおいて、スループットの向上が見られた。これにより、レート制御を用いることでウィンドウ制御による輻輳制御の弱点を克服することができるといえる。

一方で、リンク容量に対し十分なウィンドウサイズに達していない(ウィンドウサイズが小さい)まま、輻輳回避フェーズに移行するとリンクを使い切るほどのパケットを用意するまで非常に時間がかかる。この解決のためには、輻輳回避フェーズへの移行条件であるスロースタート閾値をレート制御切り替え時に適切な値に変更するといった方法が考えられる。あるいは、輻輳を契機にウィンドウ制御からレート制御へと切り替えるのではなく、通信開始時からレート制御による通信を行う必要があるだろう。

参考文献

- [1] 高橋ほか, バッファ情報を用いるクロスレイヤーフロー制御, FIT2010, L-010, pp. 185-186, 2010.
- [2] 上川原ほか, フロー制御における TCP 輻輳ウィンドウサイズ削減率について, FIT2011, L-003, pp. 179-180, 2011.
- [3] 銭飛, NS2 によるネットワークシミュレーション, 森北出版, 2006.