

L-010

バッファ情報を用いるクロスレイヤーフロー制御 Cross-layer Flow Control Using Buffer Status Information

高橋淳[†] 平中幸雄[‡] 武田利浩^{*}
Jun Takahashi Yukio Hiranaka Toshihiro Taketa

1. はじめに

TCPの輻輳制御は、パケットロスを検出してから動作するので伝送の無駄が生じる。伝送往復時間から推測する方法もあるが、より直接的なフロー制御として中継機器のバッファ残量低下をTCP層に通知すれば、スループットの最適化が可能であると考えられる。それを実現するクロスレイヤー通信エージェントを作成し、ns-2シミュレータ上で、その効果を検証したので、結果を報告する。

2. クロスレイヤーフロー制御概要

伝送路途中の中継機器バッファ使用量が警戒レベルに達したときトラフィック源に通知を出し、通知を受けたトラフィック源ではcwnd(congestion window size)を下げることで、その後のパケットのロスとそれに伴うcwndの大幅な低下を防ぐ動作を考える。

この制御方法では、データリンク層内部にあるバッファの情報をトランスポート層であるTCPで利用するため、クロスレイヤー通信により最適化をはかることに相当する。

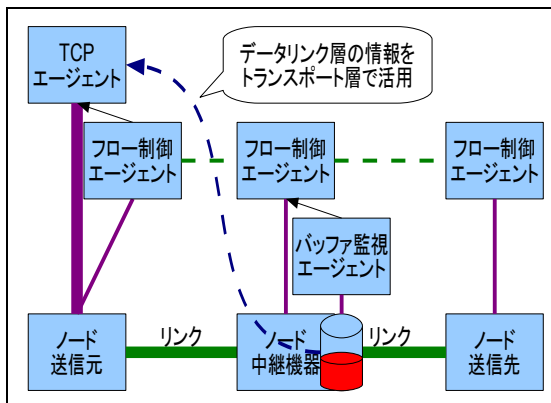


図1 ns-2上のクロスレイヤーフロー制御

3. 制御方法の検討

3.1 シミュレーションの概要

ns-2上に図1のようにバッファ監視エージェントとフロー制御エージェントの二つを追加する。バッファ監視エージェントはバッファの監視を行い、バッファ使用量が設定値以上になればフロー制御エージェントにそのことを通知する。フロー制御エージェントは、バッファ監視エージェントから通知を受けて、その通知を各ノードに接続されたフロー制御エージェントに通知する、TCPエージェントが存在するノードでは、cwndの制御が行う。

以上の仕組みで、制御に必要なパラメータについて、

最適な値を探るためシミュレーション実験を行った。検討事項は通知のタイミング及び、制御の程度である。具体的に通知のしきい値をバッファの何%とするか、制御幅を元のcwndの何%とするかの条件を変えて実験を行った。

3.2 実験シナリオ

ns-2上で図2の接続を例に検討する。ノード0及びノード1がトラフィック源となり、TCP NewRenoでノード3宛てにシミュレーション内の時間、それぞれ1.0~20.0s及び1.1~20.1sまでの20秒間パケットを送信する。リンクはノード0及びノード1からノード2までが帯域2Mbpsで、伝送遅延は1, 10, 100msと三パターン用意する。またノード2からノード3は帯域1.7Mbpsで、伝送遅延は20msとする。ノード2からノード3方向のリンクのキューサイズを10パケットと制限し、ボトルネックリンクとする。その他のキューサイズについてはデフォルトの50パケットのままとする。

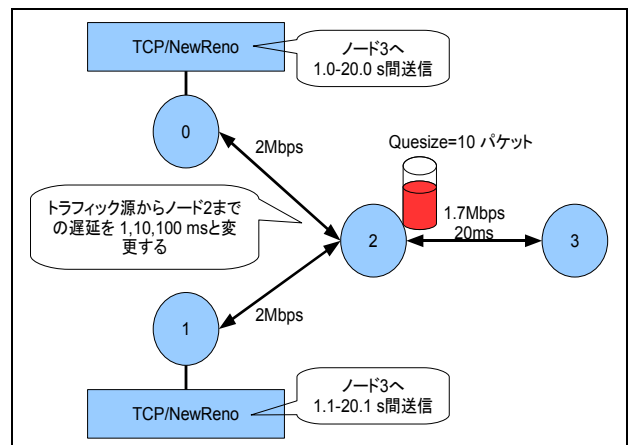


図2 シミュレーションでの接続図

この状態で制御しない場合と、制御を複数の条件で行った場合の結果について、ノード2~ノード3のリンクでドロップしたパケットの数、スループット、遅延、ジッターについて数値を取得し、比較を行う。

制御条件は通知のタイミングを20%刻みでバッファの20~80%とする。また通知を受けた際の制御の大きさはcwndを10%刻みで元のサイズの60~90%とし、情報源とノード2の遅延が1msの場合は30~90%までとする。

3.3 結果と考察

スループットについて、結果を図1から図3に示す。トラフィック源からのリンクの遅延(遅延条件)が100msの場合は、制御時のcwndを元の60~80%とすると、スループットが低下してしまった、90%にするとどの通知タイミングでもスループットは上昇している(図3)。遅延条件10msの場合は、通知のタイミングをバッファの何%

[†]ミネベア Minebea Co.,Ltd

[‡]山形大学 Yamagata University

にするかで結果が異なった, バッファの60~80%時に通知すれば, どの制御方法でもスループットは上昇した. バッファの40%時に通知した場合も, cwndを元の80%以上に制御することで, スループットは上昇した. ただし90%の制御では80%の制御よりもスループットの低下が確認された(図4). 遅延条件1msの場合は, 制御時のcwndを元の何%にするかの条件により, ほぼ右肩上がりの結果となった(図5).

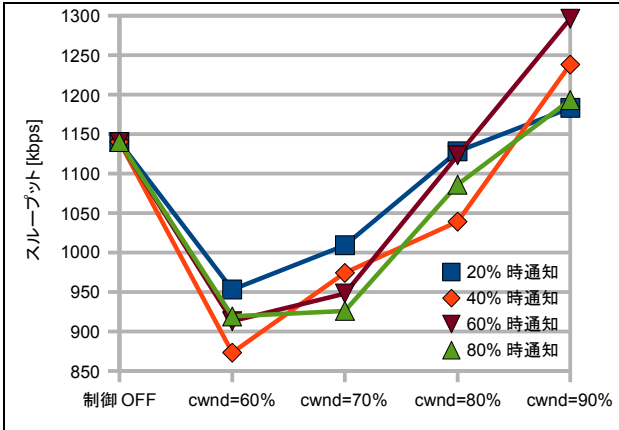


図3 遅延条件 100 ms 時のスループット

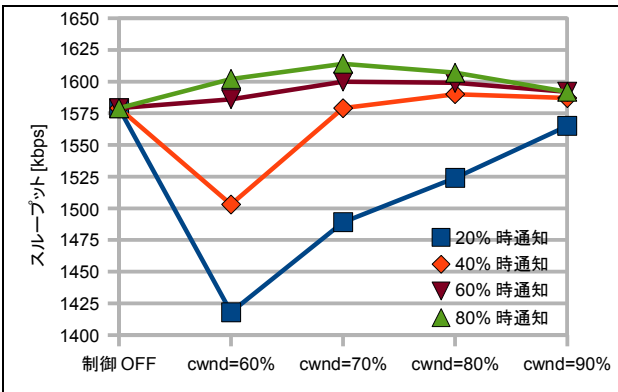


図4 遅延条件 10 ms 時のスループット

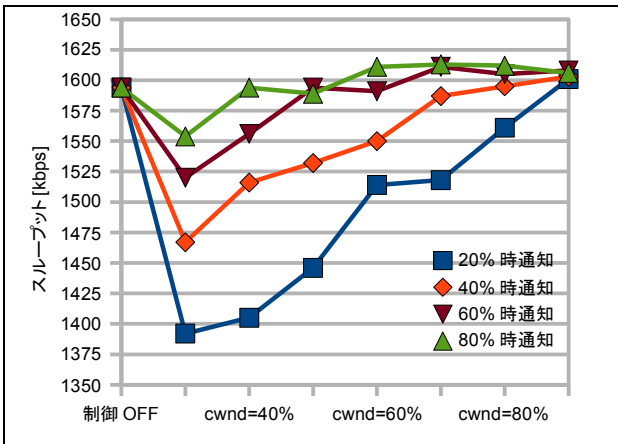


図5 遅延条件 1 ms 時のスループット

図3-5で, 制御を行うことによりスループットが

低下する場合は, 過度の制御によるものであると考えられる.

表1はドロップパケット, スループット, 遅延, ジッターの結果の一例である(遅延時間10msでバッファが80%使用時cwnd削減通知をする場合). スループットがピークのときに, ジッターが最小になっていて最適状態になっていることが分かる.

表1 遅延条件10msの測定結果 (バッファ80%時通知)

	制御OFF	制御ON(80%)			
		Cwnd=60%	Cwnd=70%	Cwnd=80%	Cwnd=90%
ドロップ	88	3	9	13	17
スループット[kbps]	1579	1602	1614	1607	1592
遅延[ms]	55.23	45.27	49.12	53.04	57.26
ジッター[ms]	9.54	9.59	9.01	9.63	9.73

3つの遅延条件に対して, スループット最大となる通知タイミングと, そのときのcwnd制御幅は表2のようになった. 10msと1msでは同じ条件となったが, 図4と図5から分かるように, cwnd制御幅が60%から90%について同様の傾向があることと対応している.

遅延が100msのように遅延時間が大きい場合, バッファ残量が多い内にトラフィック削減要請をするべきであることが示されている. さらに, そのときのcwnd制限幅は, 大き過ぎると逆効果になってしまう.

表2 本実験での適切な制御条件

遅延条件	通知タイミング	cwndの制御幅
100 ms	バッファの60%時	90%
10 ms	バッファの80%時	70%
1 ms	バッファの80%時	70%

4. まとめと今後の課題

クロスレイヤーフロー制御を行うことで, ドロップパケットが減少し, スループットの上昇が確認された. 本実験により, クロスレイヤーフロー制御の有効性が確認された.

今後, 制御系としての動特性分析をさらに進める必要がある. また, 複数のトラフィック源に対する制御では, 公平性の確保が期待され, そのためにそれぞれのフローの往復伝送時間への配慮など, 選択的な対応が必要になるものと考えている.

参考文献

- [1] 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.
- [2] 3 Minutes Networking, <http://www5e.biglobe.ne.jp/~aji/3min/index.html>
- [3] 宮川湧太郎, TCP各バージョンの輻輳制御の比較, <http://www.net.c.dendai.ac.jp/~yutaro/>