

キューの状態に応じた重み付けによる WFQ方式のための不使用帯域分配方式

久保田 享祐[†]木村 成伴[‡]筑波大学情報学群情報科学類[†] 筑波大学システム情報系情報工學域[‡]

1 はじめに

メールやウェブなど、従来から多く用いられているデータ通信では、ネットワークの輻輳や、データ損失を保証するための再送に伴う伝送の遅延があっても許容されていた。しかし、動画のストリーミング配信やビデオ会議などのリアルタイムアプリケーションでは、遅延が発生すると QoS (Quality of Service) が保証されなくなり、アプリケーションとしての機能を果たせなくなる恐れがある。この QoS を保証する方法の一つとして、パケットスケジューリングがあり、その代表的な方式として WFQ (Weighted Fair Queueing)[1] が提案されている。

2 動的な重み付けによる WFQ 方式

WFQ は、それぞれのフローに重みをつけ、重みが大きいほど、フローに割り当てる帯域を大きくする方式である。ここで、フロー i に割り当てる帯域 $BW(i)$ は式 (1) のようになる。ここで、LinkBW はリンク帯域、 $Weight(i)$ はフロー i の重みである。

$$BW(i) = \frac{LinkBW \times Weight(i)}{\sum_{\forall i} Weight(i)} \quad (1)$$

WFQ では、フローに固定的な重みを割り当ててしまうために、フロー数が多くなると、高優先度のフローに大きな重みを与えたとしても、帯域が足りなくなる。

WFQ の問題点を改善するために、動的な重み付けによる WFQ 方式が提案されている [2] (以下、従来方式と呼ぶ)。この方式では、フロー i の時刻 t の重み付け $Weight(i, t)$ は、時刻 $t - \Delta t$ から t の間でフロー i のキューに入るパケット数 $p_{in}(i, t)$ のほうが、キューから出るパケット数 $p_{out}(i, t)$ よりも多ければ帯域が不足していると見なされて増加する。逆に、 $p_{in}(i, t)$ のほう

が $p_{out}(i, t)$ よりも少なければ減少する。ここで、 p_{size} は平均パケットサイズである。但し、減少する場合は、自身の初期優先度を下回ることはない。

$$Weight(i, t) = \begin{cases} \min\{new(i, t), th(i, t)\} \\ \quad (if\ p_{in}(i, t) > p_{out}(i, t)) \\ \max\{new(i, t), Weight_{init}(i)\} \\ \quad (otherwise) \end{cases} \quad (2)$$

$$new(i, t) = \alpha \times (BW(i, t) + def(i, t - \Delta t(i))) \times \frac{\sum_{\forall i} Weight(i, t - \Delta t(i))}{LinkBW} \quad (3)$$

$$def(i, t) = \frac{(p_{in}(i, t) - p_{out}(i, t)) \times p_{size}(i, t)}{\Delta t(i)} \quad (4)$$

$$th(i, t) = \begin{cases} 1 & Weight_{init}(i) = 1 \\ \infty & C(i, t) = \emptyset \\ m(i, t) & C(i, t) \neq \emptyset \end{cases} \quad (5)$$

$$m(i, t) = \min_{k \in C(i, t)} Weight(k, t - \Delta t(i)) \quad (6)$$

一方、増加する場合でも、式 (5) の値が上限となる。この式で、 $Weight_{init}(i)$ は初期優先度であり、この値が 1 の場合は、最低の優先度 (ベストエフォート) なので、重み付けは常に 1 となる。また、 $C(i, t)$ は時刻 t において存在するフローで、その初期優先度が $Weight_{init}(i)$ よりも大きいフロー番号の集合である。すなわち、自身よりも高い優先度のフローの集合であり、これが空のときは、自身が最上位の優先度なので重み付けに上限はないが、そうでないときは、式 (6) により、自身よりも高い優先度の重み付けを超えることができない。そのため、低優先度フローの重みが高優先度フローの重みを追い越そうとすると、その分だけ、高優先度フローの重みを増やす必要がある。これにより、高優先度フローが不必要に重みを増やされ、高優先度フローに不使用帯域が生じる可能性があり、結果として、重み付けが 1 に固定された最低優先度フローに影響を及ぼすことになる。

Unused Bandwidth Allocation Method for WFQ Based on Queue Status

[†]Kyosuke Kubota College of Information Science, School of Informatics, University of Tsukuba

[‡]Shigetomo Kimura, Faculty of Engineering, Information and Systems, University of Tsukuba

3 提案方式

従来方式の問題点を改善するために、不使用帯域を低優先度フローへ分配する方式を提案する。ここで、フローを高い優先度から並べ、それらのフロー番号を順に 1, 2, 3, ... とする。このとき、高優先度フロー i の不使用帯域の変化量 $\Delta\text{Weight}(i, t)$ を、それより 1 段階低い優先度フロー $i + 1$ の使用帯域と連動して、式 (7) で定義する。ここで、 Δs は分配・回収する頻度であり、大きすぎると、不使用帯域を割り当てる時間が長くなり、小さすぎると、分配・回収の頻度が上がる。

$$\Delta\text{Weight}(i, t) = \{\text{new}(i, t - \Delta s) - \text{new}(i, t)\} + \{\text{new}(i + 1, t) - \text{new}(i + 1, t - \Delta s)\} \quad (7)$$

輻輳時に、フローの帯域が不足する最低優先度へ不使用帯域をブロック単位で分配するため、時刻 t における最低優先度のフローの重み $\text{Weight}_{\text{BE}}(j, t)$ を式 (8) で定義する。ここで、 $n_{\text{low}}(t)$ は時刻 t における最低優先度フローの最小のフロー番号、 $N(t)$ は最低優先度フローの数であり、 $n_{\text{low}}(t) \leq j < n_{\text{low}}(t) + N(t)$ である。また、 $D(t)$ は不使用帯域が存在するフローの集合である。 $n_{\text{allotblock}}(j, t)$ は時刻 t においてフロー j へ割り当てるブロック数、 $n_{\text{block}}(t)$ は時刻 t において分配することができるブロックの総数、 $\text{BW}_{\text{unused}}(i, t)$ は、時刻 t においてフロー i の不使用帯域の大きさである。

$$\text{Weight}_{\text{BE}}(j, t) = \text{Weight}(j, t) + b_{\text{size}} \times n_{\text{allotblock}}(j, t) \quad (8)$$

$$n_{\text{allotblock}}(j, t) = \begin{cases} \lfloor n_{\text{block}}(t)/N(t) \rfloor + 1 & (\text{if } n_{\text{block}}(t) \bmod N(t) \geq j - n_{\text{low}}(t)) \\ \lfloor n_{\text{block}}(t)/N(t) \rfloor & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (9)$$

$$n_{\text{block}}(t) = \lfloor \sum_{i \in D(t)} \text{BW}_{\text{unused}}(i, t)/b_{\text{size}} \rfloor \quad (10)$$

$$\text{BW}_{\text{unused}}(i, t) = \text{BW}_{\text{unused}}(i, t - \Delta s) + \Delta\text{Weight}(i, t) \quad (11)$$

4 シミュレーション実験

提案方式の有効性を確認するため、Network Simulator 3 を使用して実験を行う。本実験で用いるシミュ

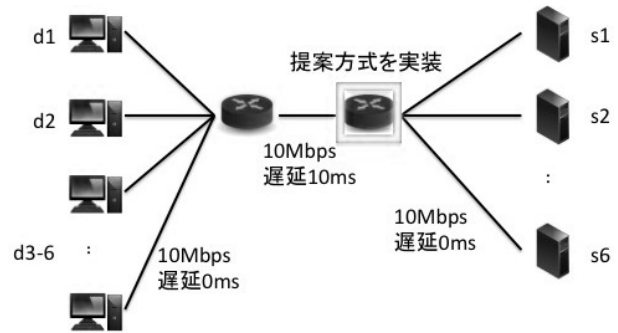


図 1: シミュレーション環境

	フロー 1	フロー 2	フロー 3-6
Weight _{init}	3	2	1
通信の種類	UDP/CBR	UDP/CBR	TCP/FTP
通信速度	3Mbps	4Mbps	1Mbps
パケットサイズ	500Bytes	500Bytes	1040Bytes
キュー長	50pkts	60pkts	75pkts

表 1: シミュレーションパラメタ

レーション環境を図 1 に、パラメタを表 1 に示す。フロー 1 とフロー 2 は動画転送を、フロー 3 から 6 はファイル転送を想定している。送信元ノード $s1 \sim s6$ は宛先ノード $d1 \sim d6$ へ、フロー 1~6 のデータを送信する。また、提案方式において、 $\Delta t = 0.1$, $\Delta s = 1.0$, $b_{\text{size}} = 0.1$ とする。実験では、WFQ 方式、従来方式、提案方式の各々のスケジューリングを行ったときの平均スループットと合計スループットを比較する。

5 まとめ

本論文では、従来方式の問題点である不使用帯域の発生を、低優先度へ分配することで改善する、不使用帯域分配方式を提案した。今後の課題として、シミュレータに提案方式を実装し、最適な Δs の値やブロックのサイズを決定することが挙げられる。

参考文献

- [1] A. K. J. Parekh and R. Gallager. A generalized processor sharing approach to flow control in integrated services networks: The single node case. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Vol. 1, No. 3, 1993.
- [2] 藤川達也, 木村成伴. キューの状態に応じた重み付けによる WFQ の提案と評価. 筑波大学大学院博士課程システム情報工学研究科修士論文, 2012.