

# ブロードバンドインターネットアクセスに対応した QoS 制御技術

## － 公平なネットワーク利用の実現 －

### QoS Control Technique for Fair Services in High-speed Networks

下西 英之†

村瀬 勉†

牧 一之進‡

村田 正幸‡

Hideyuki Shimonishi Tutomu Murase Ichinoshin Maki Masayuki Murata

†NEC ネットワーキング研究所

‡大阪大学 大学院基礎工学研究科

Networking Research Laboratories, NEC Corporation

Graduate School of Engineering Science, Osaka university

## 1 はじめに

現在 ADSL や FTTH 等の高速インターネット接続が急激に増加しており、近い将来一般ユーザからインターネットに流入するトラフィックが激増することは確実である。一方、バックボーンネットワークの帯域を流入トラフィックの増加以上に増強することは困難であると考えられる。

従来はアクセス回線のボトルネックによってバックボーンネットワークへの流入トラフィックが制限されていたため、ユーザ間の公平性はさほど大きな問題ではなかった。しかしながら、今後は広帯域アクセスの進展によって個々のユーザのトラフィックがアクセス回線帯域の制約を受けずにバックボーンネットワークに影響を及ぼすこととなり、ユーザ間の公平性が大きな問題になると考えられる。特にヘビーユーザがネットワーク資源を消費しつくして他のユーザの品質を著しく劣化させ、そのためにバックボーン回線の増強を迫られ、そのコストを最終的には一般のユーザが負わされるといった問題も発生しうる。また、現在主流の TCP フロー制御ではその本質として異なる環境 (RTT、回線速度、TCP バージョン等) では公平に動作しない、UDP との共存が難しい、コード改変による不正な動作を防ぐことができない等の問題があり、公平なサービス実現への障害となっている。

そこで本稿では公平性に関する問題や公平性を実現するための方式について簡単に述べる。そして数値例を示すことによって公平性制御を行わない場合の問題点を明らかにし、公平性制御を行なうことでネットワーク資源を有効に活用できることを示す。

## 2 資源予約による品質制御の問題点

DiffServ や IntServ 等の資源予約に基づく品質制御技術を用いることで絶対的 / 相対的な予約品質を保証することが可能である。しかしながら、それぞれのユーザがネットワーク資源の一部を占有するモデルは効率性やスケーラビリティ、シグナリング負荷等の問題から現実的ではなく、best effort ユーザも含めたすべてのユーザに対して満足なネットワーク環境を提供できるものではない。また、集約された単位で品質予約を行なう場合、例えば品質クラス全体に対して帯域予約を行う場合や企業ユーザが専用線的に帯域予約を行なう場合、クラス内や企業内の個々のユーザ間の公平性は保証できない。同様に DiffServ によってクラス間の差別化は可能であってもクラス内でのフロー間の公平性を実現できない。

このように現在の資源予約に基づく品質制御技術だけで

は公平性やネットワーク資源占有に関する問題は解決できない。そのためネットワーク資源をよりダイナミックに制御することで急増するトラフィックからネットワークを保護し、あらゆるユーザが公平かつ確実にネットワークを利用できるための品質制御技術が今後重要になると考えられる。

## 3 公平性を実現する技術

ルータにおいて各フロー毎に公平なサービスを行なうための方式は、大きく分けて 2 つの方式がある。1 つの方式はフロー毎の状態を保持する方式であり、フロー毎にキューを設けてフロー毎の DRR スケジューリングを行なう方式 [1] や、FIFO における廃棄制御をフロー毎に独立に行なう方式 [2] 等がある。これらの方式ではフロー毎に高い公平性が実現できるが、全フローの状態をルータで保持しなければならず、非常に多くのフローを高速に処理するバックボーンルータへの実装は困難である。

2 つめの方式は FIFO キューにおいてフロー毎の制御によらない廃棄制御を行なう方式であり、RED [3] やその拡張 [4] として多くの論文が挙げられる。これらの方式では完全な公平性は得られないが、実装が容易であるという利点がある。またこれらの方式の他に、特徴的なフローのみの状態を保持する方式や、ルータ内ではなくパケットヘッダ上に状態を持たせる方式 [5] 等も提案されている。

本稿ではすべてのルータに DRR 方式を実装した理想的なモデルでの評価を行ない、FIFO キューのみを用いるモデルと比較する。DRR 方式を用いたのは公平性制御による最大限の効果を検証するためであるが、実際には大規模なコアルータに DRR 方式を実装することは困難である。我々はまた DRR 方式に近い性能を持ちながらあらゆるルータにスケーラブルに実装可能なスケジューリング方式も提案している [6]。

## 4 数値例

### 4.1 評価モデル

本稿で扱うネットワークモデルは図 1 に示すようにエッジルータとコアルータの 2 階層からなる。アクセスリンク、エッジルータとコアルータ間のリンク (以下ローカルリンク)、コアルータ間のリンク (以下バックボーンリンク) の帯域及び伝搬遅延時間は図 1 の通りとする。コネクションは全部で 1024 本とし、32 本のコネクションがそれぞれ 32 台のエッジルータに接続されている。約 2 割 (192 本) のコネクションは最大限に帯域を使用し尽くすヘビーユーザを模して 1.5 Mbps 固定帯域の UDP とし、その他のコネクションは一般ユーザを模した TCP (Tahoe) とする。UDP

コネクションは全エッジルータに均等に収容され、全ての TCP/UDP コネクションは送信データを無限に持つ。

#### 4.2 FIFO ルータを用いる場合

図 2-4 ではそれぞれローカルリンクの帯域を 48、32、16 Mbps とし、全 TCP コネクションの平均スループットと全 UDP コネクションの平均スループットを示す。

図 2 よりコアルータのみがボトルネックの場合、UDP コネクションのスループットはほぼ一定であるが、TCP コネクションではバックボーンリンク容量の減少にともなってスループットが低下していることがわかる。すなわちアクセス回線が最大のボトルネックであって、エッジルータやコアルータに十分な帯域がある場合には TCP と UDP の間の公平性はあまり問題にならないが、バックボーンに十分な帯域が無い場合には TCP コネクションのスループットのみが大幅に低下し、公平性が大きな問題となる。特にバックボーンリンクの容量が 300 Mbps の場合ほぼ全ての帯域を UDP コネクションが占有し、TCP コネクションはほとんど通信できない。また、エッジルータがボトルネックの場合、すなわち図 3-4 においてバックボーンリンクの帯域がスループットに影響を及ぼしていない領域においても、UDP コネクションの存在によって TCP コネクションのスループットが大きく低下していることがわかる。

#### 4.3 ルータにおいて公平性制御を行なう場合

図 2-4 では DRR 方式の平均スループットも示している。これらの図より、公平性制御を導入することで TCP コネクションと UDP コネクション間の不公平性が解消され、帯域が公平に使用されていることがわかる。図 2 より、また図 3-4 を比較することにより、バックボーンリンクやローカルリンクの帯域が少ないほど公平性制御による TCP コネクションのスループットの向上が大きいことがわかる。すなわち、アクセス回線容量が増加し、バックボーンネットワークの帯域が圧迫されるほど公平性制御の重要性がより高くなるといえる。

公平性制御を導入することにより、同じ品質を得るためのネットワークコストを削減することが可能である。例えばコアルータがボトルネックになっている場合、輻輳時にもすべての best effort ユーザが 300 Mbps 程度の帯域が使用可能であるようにネットワークを設計するためには、FIFO ルータではバックボーンリンクの帯域を 600 Mbps 程度にする必要があるが、公平性制御を行なうことで必要な帯域を 300 Mbps にまで削減することができる。

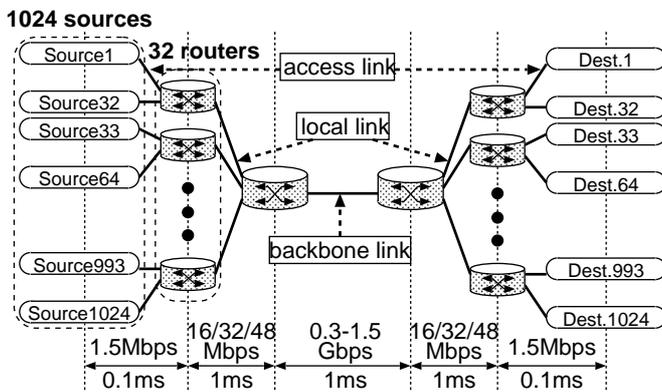


図 1: ネットワークモデル

## 5 まとめ

本稿では公平性に関する問題や公平性を実現する方式について簡単に述べた。そして数値例を用いて公平性制御の効果を示し、あらゆるユーザが公平に帯域を使用できることを示した。また公平性制御を行なうことでネットワーク資源を有効に活用することが可能であり、数値例では一般ユーザの品質を低下させることなくバックボーンリンクの容量を半分程度に削減できる例を示した。

### 参考文献

- [1] M. Shreedhar, et. al., "Efficient Fair Queuing Using Deficit Round-Robin", IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol.4, No.3, 1996
- [2] Dong Lin, et. al., "Dynamics of Random Early Detection", ACM SIGCOMM, 1997
- [3] Sally Floyd, et. al., "Random Early Detection Gateways for Congestion Avoidance", IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol.1, No.4, 1993
- [4] L. W. Teunis, et. al., "SRED: Stabilized RED", IEEE INFOCOM, 1999
- [5] I. Stoica, et. al., "Core-stateless Fair Queuing: Achieving Approximately Fair Bandwidth Allocations in High Speed Networks", ACM SIGCOMM, 1998
- [6] 牧他, 公平なネットワーク利用を実現するスケーラブルなパケットスケジューリング方式, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, 2001.

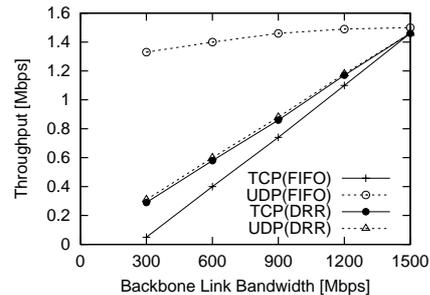


図 2: 平均スループット評価 (ローカルリンク 48 Mbps)

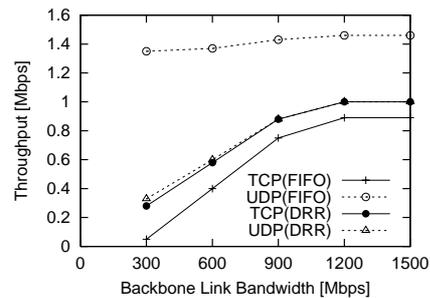


図 3: 平均スループット評価 (ローカルリンク 32 Mbps)

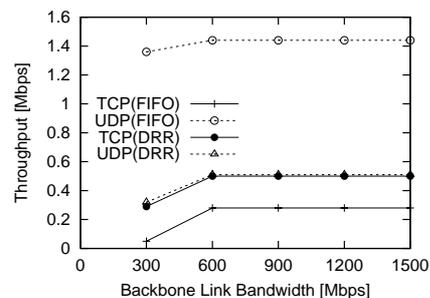


図 4: 平均スループット評価 (ローカルリンク 16 Mbps)