

# M XQメカニズムを用いたUDPフローの動的アドミッション制御

清水 敬司<sup>†</sup>

NTT未来ネットワーク研究所<sup>†</sup>

高原 厚<sup>‡</sup>

NTT未来ネットワーク研究所<sup>‡</sup>

## 1. はじめに

H.323テレビ会議アプリケーション等は、画像・音声データの転送にUDPを用いている。UDPには、TCPのような輻輳回避の機構が標準として規定されていないため、このようなUDPを用いたフローにより輻輳が起こり、網の利用効率が大きく低下する。

本稿では、筆者らの提案しているM XQメカニズム[1]を用い、UDPフローの動的なアドミッション制御を行うことで、UDPフローによる輻輳に起因する問題を効率的に解消できることを、プロトタイプシステムを利用した実験により示す。

## 2. UDPフローによる輻輳に起因する問題

H.323テレビ会議アプリケーション等の画像・音声データの転送には、即時性が要求されるため、トランスポートプロトコルとしてUDPが用いられている。

UDPには、データ転送の信頼性を保障するTCPとは異なり、流量制御、再送制御、輻輳制御といった複雑な機構が標準として規定されていないため、これらの機能は必要に応じてそれを利用するアプリケーションにより独自に実現される。そのため、輻輳の回避に重要な役割を果たす輻輳制御が有効に機能せず、輻輳が発生する可能性がある。

そこで、トラフィック生成装置を用いて、UDPフローによる輻輳を起こす実験を行った。実験では、送信レートがそれぞれ約 5Mb/s, 10Mb/s, 15Mb/s, 20Mb/s, 25Mb/s のUDPフロー 5本を、リンク帯域がおおよそ 70Mb/s の出力リンクをもつルータに入力した。送信レートの総和は、約 75 Mb/s であるため、輻輳が起こり一部のパケットが廃棄された。

実験系に約 3分間トラフィックを流した際の、フロー毎の送信したパケット数(左側)と、受信したパケット数(右側)を図1に示す。輻輳により、どのフローからも程度の差はあるが、パケット廃棄が観測された。

テレビ会議アプリケーション等のUDPフローの場合、パケット廃棄が起こると、一般的には、その程度によらず画像、音声の品質が大きく低下する。したがって、図1の結果は輻輳が起こった場合、輻輳したリンクを利用しているユーザすべてが、輻輳の影響を受け、画像音声の品質の劣化を感じていることを示唆している。一方、網の利用効率という観点からも、品質が劣化しユーザに対して効用を与えていない、いわば、無効なトラフィックを多く転送していることとなり問題である。

また、テレビ会議アプリケーションには、独自の輻輳制御機能が備えられているものがある。ただし、それらは、品質の劣化を検出すると送信する画像の品質を下げるといった、比較的応答時間の長い制御で

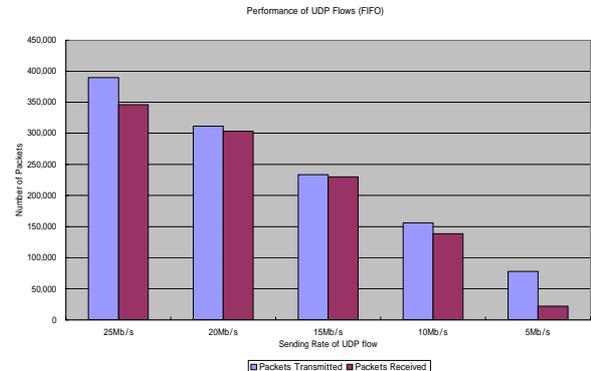


図1 UDPフローの輻輳によるパケット廃棄状況

ある。輻輳により、画像の品質劣化が観測されると、そのような独自の輻輳制御により、輻輳は解消される。しかし、輻輳はすべてのアプリケーションに観測されるため、すべてのアプリケーションが輻輳解消制御を行い、結果として、網の利用効率が必要以上に低下してしまう可能性がある。

## 3. M XQによるUDPフローのアドミッション制御

本稿では、2章に述べたようなUDPフローによる輻輳に起因する問題に対して、従来のルータには実装されていない新しいフローの調停方法を提案する。

### 3.1 従来のルータにおけるフローの調停法

ルータとは、IPパケットを転送する装置であり、定義上は、ある送受信アプリケーション間のパケット流である「フロー」を意識した処理を行わない。しかし、実際には、「フロー」を意識した制御機能が提案され、実装されてきた。これらをフローの調停方法という観点で分類するとおおむね以下ようになる。

**規定フロー優先型** あらかじめ規定されたフローを他のフローに対して優先して転送する方法。Priority Queue など。

**フロー間均等化型** 到着したすべてのフローを均等となるように適宜転送を調整する方法。WFQ, WRR など。

規定フロー優先型を適用する場合には、どのフローを優先するかをRSVPといった資源予約プロトコルなどを用いて、通過するルータに知らせておく必要があるが、その経済的実現性という点で未解決の議論があることが知られている。[2]

フロー間均等化型を適用する場合は、均等化のための調整が、アプリケーションの要求品質に無関係に行われるため、図1に示すような輻輳の影響がすべてのアプリケーションに及ぶという問題が起こる。

### 3.2 低送信レートフロー優先型フロー調停法

本稿では、「低送信レートフロー優先型」という新しい調停方法を提案する。本調停方法は、以下のようなものである。

Dynamic Admission Control of H.323 UDP flows in best-effort networks

<sup>†</sup>Takashi Shimizu, NTT Network Innovation Laboratories

<sup>‡</sup>Atsushi Takahara, NTT Network Innovation Laboratories

到着したすべてのフローの送信レートを観測し、輻輳が起こった際には、低送信レートのフローを優先して転送し、一方、高送信レートのフローを非優先とし、パケットを廃棄する。

この方法により、輻輳が起こった際でも、低送信レートのフローのパケットは廃棄されないため、品質劣化なく通信を継続できる。一方で、高送信レートのフローは、パケット廃棄されるため、品質劣化が起こる。つまり本調停法は、送信レートに注目したUDPフローの動的なアドミッション制御を実現する。

本調停法の利点は以下の2点である。

- ✖ パケットの廃棄が高送信レートのフローに集中するため、無効なトラフィックの発生を防ぎ、網の利用効率を低下させない。
- ✖ パケット廃棄は、高送信レートであることを示唆する暗黙のフィードバックとなるため、アプリケーションに対して、送信レートを下げるなど適切な輻輳制御を動機付けることが可能となる。

#### 4. 低送信レートフロー優先型調停法の実現

本調停法は、筆者らの提案するMXQメカニズム[1]により実現が可能である。MXQメカニズムは、送信レート観測機能、および、選択的パケット廃棄機能から構成される。

##### 4.1 送信レート観測機能

ルータのインタフェースより受信したパケットを、フローの定義となる、送信元IPアドレス、送信先IPアドレス、送信元ポート番号、送信先ポート番号、プロトコル番号という5つの情報により分類し、それぞれのフローの送信レートを計算する。

計算方法には、短い時間の変動をある程度吸収し、安定した平均レートを計算できる、指数平滑化法、や、タイムスライディングウィンドウ法などを用いる。

##### 4.2 選択的パケット廃棄機能

送信するパケットについて計算された送信レート、現在の平均通過レート、および、輻輳を検出するためのキュー長の3つのパラメータから、パケットを転送する確率を計算し、それにしたがってパケット廃棄を行う。この機能により、小さい送信レートフローのパケットを優先的に転送する調停法を実現する。

平均通過レートは、調停機能により転送されたパケットの送信レートを、ある確率でランダムに抽出し、それらの平均値、あるいは、メジアンといった統計値を求めることにより推定する。

輻輳が起こった場合、通常、キュー長が急激に大きくなる。そこでターゲットとするキュー長をあらかじめ決めておき(たとえば、最大キュー長の半分など)、それを超えている状態を輻輳と定義し制御に用いる。

#### 5. MXQによるフローのアドミッション制御の実現

図2は、図1と同じ実験系で、MXQを用いてアドミッション制御を行った様子を示している。3分間トラフィックを流した際の、フロー毎の送信したパケット数と受信したパケット数を示している。このようにMXQを用いた場合、もっとも送信レートの高い、25Mb/sおよび、その次の20Mb/sのフローに対してパケットが廃棄される。一方低い送信レートの5Mb/s、10Mb/s、15Mb/sのフローのパケットは廃棄されない。

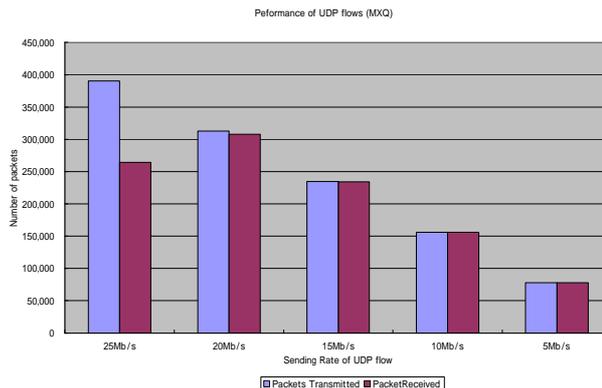


図2 MXQ適用時のフロー毎のパケット廃棄状況

#### 6. テレビ会議アプリケーションを用いた実証実験

H.323テレビ会議アプリケーションとして、CUSeeMe および、Meeting Point を用い、太平洋を横断する拠点間でのテレビ会議を模擬した実証実験を行った。太平洋横断の回線には GEMnet [3] を用いた。帯域はおよそ 700kb/s 往復遅延時間(RTT)は、およそ 130ms であった。

CUSeeMe は、画像フローとして平均 360kb/s 最大 990kb/s、音声フローとして 13kb/s (一定レート)、一方 Meeting Point は画像フローとして平均 240kb/s 最大 610kb/s、音声フローとして 69kb/s (一定レート)を送信する。双方を比較するため、DVD再生装置1台を双方に接続し、同じ画像、音声を送信させた。

実証実験の系では、画像の切り替えが起こった際に大きなバーストが発生し輻輳が発生する。MXQを用いない実験では、予想通り輻輳時に双方の画像、音声 が 乱れ、利用に支障が起こることが確認できた。一方、MXQを用いた場合、画像の乱れは、送信レートの大きい CUSeeMe のみ、起こり もう一方の画像、および、双方の音声には乱れが起こらなかった。これらの実験から、MXQによる制御により、輻輳の影響がひとつの画像フローに集約され網の利用効率を低下させないこと、また、適切な輻輳制御を動機付けするフィードバックが得られることを確認した。

#### 7. 終わりに

本稿では、「低送信フロー優先型フロー調停法」を提案し、MXQメカニズムによるUDPフローの動的なアドミッション制御が、UDPフローによる輻輳に起因する問題を効率的に解消できること述べた。

トラフィック発生装置を利用した輻輳実験、および、実アプリケーションを利用し、太平洋を横断する拠点間でのテレビ会議を模擬した実証実験を行い、提案するフローの調停法が有効に機能することを示した。

#### 参考文献

- [1] Shimizu et. al., "MXQ (MaXimal Queuing): A Network Mechanism for Controlling Misbehaving Flows in Best Effort networks, IEICE Trans. Inf. & Syst., Vol. E84D, No. 5, 2001.
- [2] Lee Breslau et. al., "Best-Effort versus Reservations: A Simple Comparative Analysis," Proc. SIGCOMM '98.
- [3] 岡田他, "グローバルテストベッド(GEMnet)の利用と機能高度化," NTT R&D, Vol. 50, 2001.