

QoS を考慮したアプリケーション層マルチキャストの提案

Improving Quality of Service in Overlay Video Multicast

中村 嘉隆[†] 山口 弘純[†] 廣森 聡仁[‡] 安本 慶一[§] 東野 輝夫[†]

Yoshitaka Nakamura Hirozumi Yamaguchi Akihito Hiromori Keiichi Yasumoto Teruo Higashino

1. まえがき

高速ネットワークの普及は、比較的小規模のグループによるグループ通信をもたらすと予想される。我々はこのようなグループ通信に利用するためのアプリケーション層マルチキャストプロトコルとして、各ホストがビデオに対し指定する優先度要求に基づき、限られたオーバーレイリンク帯域や各ホストのビデオ転送能力のもとで、どのビデオを優先的に配信するかを動的かつ分散で制御できる Emma (End-user Multicast for Multi-Party Applications) を提案している [1]。

本稿では、ユーザの満足度をさらに高めるために、Emma において QoS を意識したオーバーレイネットワーク制御が行えるような機能を追加している (Emma/QoS)。この Emma/QoS に対しシミュレーション実験を行い、その効率、性能を単純な方式のプロトコルとの比較により評価した。

2. Emma/QoS プロトコル

提案するアプリケーション層マルチキャストプロトコル Emma/QoS は、各ユーザホスト (以下ノード) が自身のビデオを同時配信するようなビデオチャットや電子ビデオ会議のようなアプリケーションを対象とする。Emma/QoS において、ノードは、P2P リンクからなる仮想ネットワーク (オーバーレイネットワーク) を構築し、オーバーレイネットワークのマルチキャストルータとしてマルチキャスト配信木の構築やパケット転送などをアプリケーションレベルで行なう。また、各ノードにおけるビデオフィルタリング機能を仮定することで、複数ビデオが同時配信される場合の帯域競合に対し、品質優先度に基づくレート制御を行ない、ユーザの満足度をなるべく高くしながらその解決を図ることができる。

Emma/QoS ではパケットがオーバーレイネットワークで配信されるため、複数のユニキャスト経路を経由 (パスストレッチ) し、結果として遅延の増大を招く。また、各リンクでの帯域競合を考慮した場合、複数ビデオソースの各経路木の重複 (ツリーストレス) が小さいことが望ましい。また、オーバーレイネットワークでは中間ノードが各ユーザであるため、ユーザ離脱時のオーバーレイネットワークの堅牢性が求められる。想定するアプリケーションでは、多くのユーザが要求するビデオなどはなるべくその受信要求を受け入れ、ユーザ満足度 (各ユーザごとに各ビデオに対する優先度要求を数値化したもののうち、要求が受け入れられたもの) を向上させることが望ましい。一方で、1 つの映像が不必要に広帯域を占有

するよりは、なるべく多くの映像をある程度の品質レベルで配送するほうがより適切なサービスであることも多い。これらを Emma/QoS プロトコルの設計目標とする。

2.1 セッション参加・離脱時の制御

各ノードはセッション参加時に、帯域に余裕があり、遅延時間が短い数ノードを選択してオーバーレイリンクを構築する。これらからなるオーバーレイネットワーク上に各ノードを根とするソーススペースのスパニング木を継ぎ木方式で構築する。この際、ソースノードからの遅延、ホップ数が、セッションポリシーで定められた制約を満足した上で、リンク容量をメトリックとする。これによって経路木の重複、個々の経路における遅延を抑えることが可能である。

また、中継ノードとなっていたあるノードが離脱した場合には、ノード間の相互接続性、及びユーザ満足度をなるべく維持するため、離脱したノードを介してビデオを受信していた隣接ノードはそれぞれそのビデオの配信木上のいずれかのノードに再接続し、ビデオ配信木の維持を試みる。再接続後の配信木においては、ビデオのソースノードから各受信ノードへの遅延がなるべく小さいことが望ましい。しかし、単純にソースノード方向に再接続先を求める方法では、ソースからのホップ数の小さいノードが多数のオーバーレイリンクを持つことになる。これを防ぐために以下の方法を取り、各ノードの枝の数、ソースノードからの深さ等に極端な偏りがないような配信木を維持する。

各ノードは自らを根とする各ビデオの部分配信木において、空き帯域を持つノードのリストを保持している。あるノードの離脱時に、その子ノードは、離脱ノードの親に当たるノードのリストからソースノードからのホップ数が最小のものを選んで再接続を行う。

このようにして離脱時の制御を行うことによって、配信木の相互接続性やユーザ満足度が維持でき、配信木の堅牢性を向上させることができる。

2.2 データストリーム転送制御

Emma/QoS では Emma[1] と同様、各ビデオに対するユーザの嗜好を数値化し (ユーザプリファレンス)、これをメトリックとしたビデオストリームの転送制御を行っている。これによって、ユーザの要求をなるべく満足するようなストリーム配信が可能となるが、配信要求の棄却率をより低くするために更に以下のような制御を行う。

Emma/QoS では、あるリンクで利用可能な帯域を単位帯域で分割した帯域ユニットを用いることにより、帯域制御を行っている。この帯域ユニットを 1 本あたり複数消費するストリームが複数配信されている状況で、これらの転送レートを中間ノードで削減することにより、新たなストリーム配信要求を受け入れ可能となる。その

[†]大阪大学大学院情報科学研究科, Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

[‡]大阪大学大学院基礎工学研究科, Graduate School of Engineering Science, Osaka University

[§]奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科, Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology

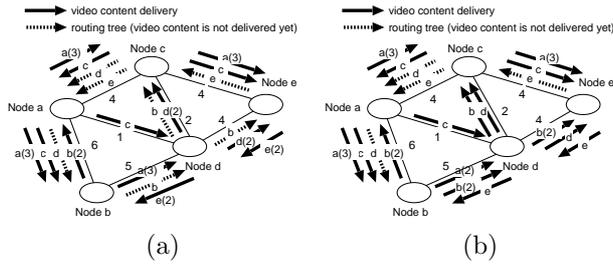


図 1: 転送レートの調節

際、ユーザプリファレンスを考慮して、高い優先度要求を持つビデオを優先的に配信し、システム全体でのリソースの配分効率ができるだけ良くなるよう制御する。

今、図 1(a) において、ノード c, d, e が新たに、ノード b からのストリーム配信 (2 ユニット消費) を要求する場合を想定する。要求が出される時刻はほぼ同時と仮定する。図 1 において、 $a(3)$ などの表示は、ノード a からのビデオストリームが 3 ユニットの帯域を使用していることを表し、リンク上の数字はオーバレイリンク容量、すなわちそのリンクの持つ帯域ユニット数を表している。Emma/QoS では、アルゴリズムの単純化のため、1 ユニットずつ帯域を確保するよう要求を出す。

まず、ノード c, e からの 1 帯域ユニットの確保要求はノード d で集約され、ノード b に配送される。この場合、リンク $b-d, d-e, d-c$ において、オーバレイリンク容量が不足する。そのため、例えば、リンク $b-d$ では、ストリーム a (3 ユニット消費) あるいは、ストリーム e (2 ユニット消費) のいずれかの転送レートを下げることで、新たに 1 ユニットの帯域を確保する。この際、転送レートが下がることで生じる下流での受信ビデオのユーザ満足度低下を定期的に集約し、要求が満たされた場合のユーザ満足度と比較することで、どちらのストリームの転送レートを下げるか、あるいはこの要求を棄却するかを決定する。他のリンク $d-e, b-d$ についても同様の手順を適用し、例えばリンク $b-d, d-e, d-b$ でそれぞれ、ストリーム a 、ストリーム e 、ストリーム d の転送レートを下げることを決定し、ストリーム b を受け入れるための 1 帯域ユニット分の確保要求が終了する。

次に、ストリーム b に対し、さらに 1 帯域ユニット分の確保要求を出すことができる。この場合、リンク $b-d$ では、ストリーム e の転送レートが上流リンクの $d-e$ で既に削減されているため 1 ユニット確保でき、リンク $d-e$ では、ストリーム d の転送レートを下げることで 1 ユニット確保する。また、リンク $d-b$ で、ストリーム d の配信を停止したくない場合、 d に対するユーザプリファレンスで設定すれば、ストリーム b への帯域の追加割り当ては行われない。

この場合の最終的な帯域割り当て結果を図 1(b) に示す。

3. シミュレーションによる性能評価

オブジェクト指向スクリプト言語 Ruby[3] を用いて Emma/QoS のシミュレータを実装し、Emma/QoS の性能評価を行った。

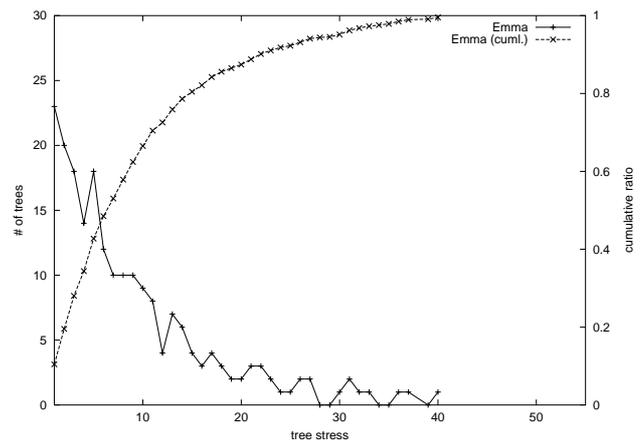


図 2: ツリーストレス分布

ネットワークは LAN, MAN, WAN より生成される階層型トポロジを tiers モデル [2] に基づいて生成した。LAN, MAN, WAN の帯域はそれぞれ 6Mbps, 50Mbps, 100Mbps と仮定した。これはユーザ付近のリンクの帯域がボトルネックリンクとなることを表す。各ストリームの最大ビットレートは 1Mbps とし、1 帯域ユニットは 256kbps と仮定した。

ノード数が 200, ユーザ数が約 55 である場合について評価を行った。セッション参加時に 3 つのオーバレイリンクを構築し、利用できるオーバレイ帯域の総量は、LAN の帯域の半分と仮定する。

シミュレーションでは、以下のシナリオで実験を行った。

- ユーザは順次セッションに参加して、オーバレイネットワークを構築する。
- 各ユーザは 4 つのビデオをランダムに選択し、その受信要求を行う。
- 要求を出しながら 1 ユニットも獲得できていないビデオは、定期的に要求を繰り返して送出する。
- 全ユーザの参加後、ランダムにユーザを選択して、元のユーザの 10% にあたる数まで参加離脱を繰り返す。

ツリーストレス分布 1 オーバレイリンクにおける各経路木の重複 (ツリーストレス) が大きければ、1 つの経路木が利用できる帯域が分散されることになる。

図 2 にツリーストレス分布を示す。1 ノードが持つ 3 オーバレイリンクに均等に経路木が分散した場合のこの値は、約 19 である。これを超えるようなツリーストレスをもつオーバレイリンクは比較的少なく、ビデオ配信制御は頻繁には発生しない。

パスストレッチ分布 Emma/QoS での経路木構築により、パスストレッチ、すなわち 2 ユーザ間のオーバレイ上最短経路に含まれる実リンク数とユニキャスト最短経路に含まれる実リンク数の比がどの程度まで抑えられているかを評価した。

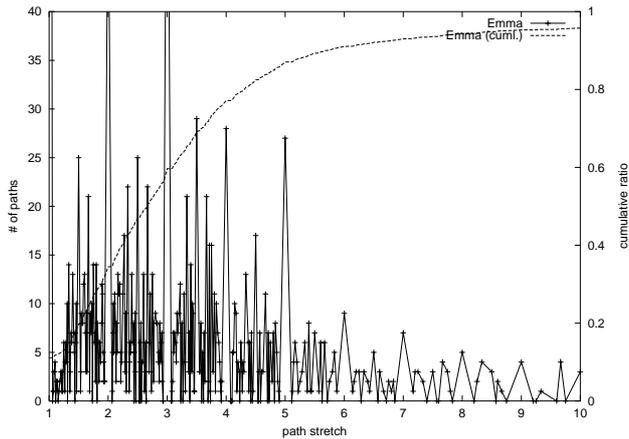


図 3: パスストレッチ分布

図 3 では x 軸がパスストレッチ, y 軸が経路数を表している. これによると, ほぼ 80% の経路が 4 以下であることが読み取れる. これは, 遅延がほぼ 4 倍であることを示すが, 現在のインターネットのエンド間遅延 (国内では数十ミリ秒) を考慮に入れば, Emma/QoS で通信を行うのに十分な結果であるといえる.

要求満足率分布 要求していたビデオがすべて受け入れられた場合の満足度と, 実際に受け入れられたユーザ満足度の比 (要求満足率) をユーザごとに計算し, その分布を測定した. また, 要求順に受け入れ, 空きがない場合は受け入れない方式 (First-Come-First-Serve 方式, FCFS 方式) で行った場合との比較を行った.

FCFS 方式では図 4 で示す通り, 半数近くのユーザが満足率 0, すなわち, 要求したストリームがまったく受けられない. Emma/QoS を用いた場合も, そのようなユーザは存在するが, ほとんどのユーザは 0.8 程度の満足率を達成している.

電子会議アプリケーションでは, ユーザは高品質な単一のビデオより, 低品質でも複数のビデオを要求する傾向がある. この点で, Emma/QoS の帯域制御機能は複数のストリームの配信に適していると言える.

ユーザ満足度の変動 シミュレーション時間毎のユーザ満足度の変動を測定した. ここでは, 各ストリームが利用する帯域ごとに, その帯域を利用することでユーザにどの程度の満足度を与えられるかの値をユーザ満足度としている. この変動を見ることにより, ユーザの参加・離脱が行われるような状況での Emma/QoS の振る舞いを表すことができる. 結果は図 5 の通りである. この結果から, ユーザ満足度は FCFS に比べ高い値を達成し, 参加離脱を繰り返しても, それを維持できていることが読みとれる.

4. まとめ

本稿では, オーバレイ上で複数ビデオを同時配信する際の QoS 制御を可能にした Emma/QoS を提案し, シミュレーションによりその性能評価を行った. シミュレー

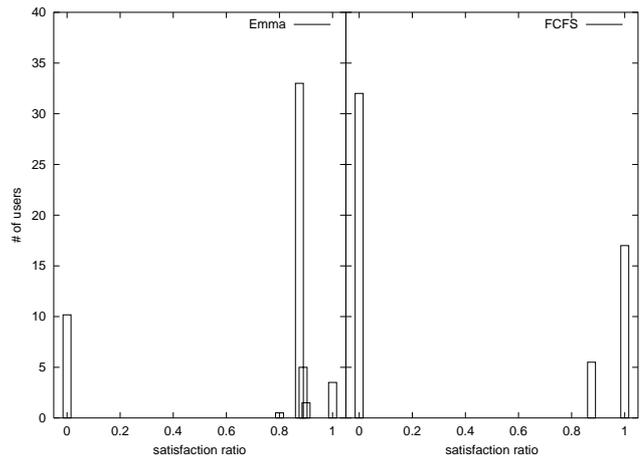


図 4: ユーザ要求満足率分布

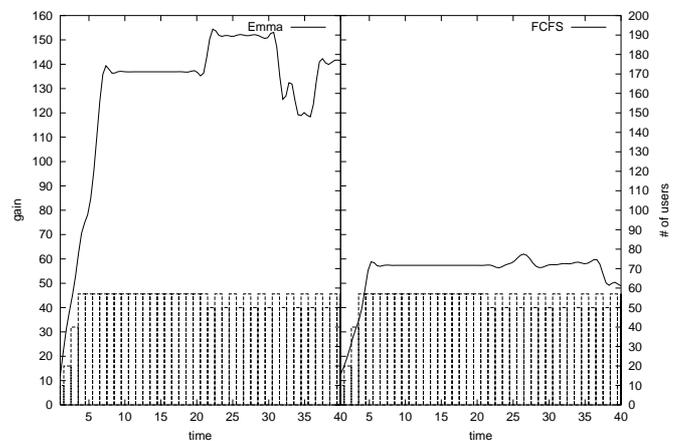


図 5: ユーザ満足度の変動

ション実験の結果, グループ間通信として用いる場合のオーバレイ効率維持できており, ユーザ満足度も単独な方式と比較してかなり高い値を持つことがわかった.

参考文献

- [1] Y. Nakamura, H. Yamaguchi, A. Hiromori, K. Yasumoto, T. Higashino and K. Taniguchi, "On Designing End-user Multicast for Multiple Video Sources," *To appear in Proc. of 2003 IEEE Int. Conf. on Multimedia & Expo*, 2003.
- [2] K.L. Calvert, M.B. Doar and E.W. Zegura, "Modeling Internet Topology," *IEEE Communications Magazine*, pp. 160-163, 1997.
- [3] "Ruby Home Page."
<http://www.ruby-lang.org/en/>
- [4] M. Parsa and J. J. Garcia-Luna-Aceves, "A Protocol for Scalable Loop-Free Multicast Routing," *IEEE Journal of Selected Areas in Communications*, Vol. 15, No. 3, pp. 316-331, 1997.
- [5] S. Shenker, "Fundamental Design Issues for the Future Internet," *IEEE Journal on Selected Areas in Communication* Vol. 13, No. 7, pp. 1176-1188, 1995.