

アクティブネットワーク技術を利用した実時間動画像マルチキャスト

若宮 直紀 宮原 秀夫

大阪大学大学院情報科学研究科 〒 560-8531 大阪府豊中市待兼山町 1-3

E-mail: †{wakamiya,miyahara}@ist.osaka-u.ac.jp

あらまし 同時に多数のクライアントに動画像を配信する実時間動画像マルチキャストにおいて、サーバへの負荷集中の軽減、ネットワークの負荷増大の抑制を図りつつ、クライアントごとに異なる QoS 要求に応じた動画像データを提供するためには、網内中継機器における高度なデータ処理を可能にするアクティブネットワーク技術を用いるのが効果的である。本稿では、動画像品質調整可能な複数のアクティブノードからなるアクティブネットワークにおいて、置かれる環境の様々に異なる複数のクライアントに対して適切な品質の動画像をマルチキャスト配信するためのフレームワークを提案している。

キーワード アクティブネットワーク、動画像マルチキャスト、品質調整、QoS

Real-Time Video Multicast using Active Networking

Naoki WAKAMIYA and Hideo MIYAHARA

Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

1-3 Machikaneyama, Toyonaka, Osaka 560-8531, Japan

E-mail: †{wakamiya,miyahara}@ist.osaka-u.ac.jp

Abstract To provide clients with video streams of a satisfactory level of quality, it is effective to employ active networks that consist of active nodes whose behaviors toward packets can be tailored according to network administrator's, application's, and user's demands. Specifically, if an active node can dynamically adjust the quality of a video stream to fit to the appropriate level, we can accomplish an effective video multicasting taking into account the client-to-client heterogeneity. In this paper, we propose a framework of active real-time video multicasting in the heterogeneous environment. In the framework, video-quality adjustable active nodes are responsible for the dynamic re-organization of multicast groups each of which provides clients with a video stream in accordance with their requests.

Key words active network, video multicast, quality adjustment, QoS

1. はじめに

動画像サーバから複数のクライアントへ同一内容の動画像を実時間で配信する場合には、IP マルチキャストなどを用いてマルチキャスト配信することにより、動画像サーバへの負荷を軽減すると同時に配信に必要な帯域を抑え、効率的な実時間動画像配信が可能となる。しかしながら、CPU 処理能力やグラフィック描画能力、通信能力などのシステム性能、ネットワークへの接続回線容量、サーバへの経路の負荷状態など置かれる環境の違い、あるいは再生動画像に対する利用者の好みなどにより、クライアントが要求する動画像の品質は様々に異なるため、全てのクライアントを一つのマルチキャストグループに収容し、単一品質の動画像データをマルチキャスト配信するのは適切ではない。例えば、マルチキャストグループ内で最も

高い要求品質にあわせて高品質な動画像データを生成、配信すると、処理能力の低いクライアントでは動画像が再生できない、利用可能な帯域の少ないクライアントではネットワークの輻輳によるパケット棄却により動画像の品質が激しく変動、劣化する、などの問題が生じる。

置かれる環境の様々に異なる複数のクライアントに対してそれぞれの要求に応じた動画像データを配信する手法としては、(1) サイマルキャスト: 動画像サーバがそれぞれ異なる品質の複数の動画像データを同時に生成、異なるマルチキャストアドレスを用いて配信し、クライアントは適切なマルチキャストグループに参加することにより望む品質の動画像データを受信、再生する、(2) 階層符号化: 階層構造を持つ動画像データを同時に生成、層ごとに異なるマルチキャストアドレスを用いて配信し、クライアントは適切な組み合わせのマルチキャストグルー

ブに参加，受信したデータを組み合わせて復号化することにより望む品質の動画像を得る，(3) 動画像品質調整: 動画像サーバは高品質な単一の動画像データのみを生成，マルチキャスト配信し，クライアントは網内に配置された動画像品質調整装置によって加工された動画像データを受信，再生する，などが提案されている．

サイマルキャストは，実装が容易であるが，特にクライアントの要求する動画像の品質が大きくばらつく場合には，動画像符号化，送出処理によるサーバへの負荷が大きく，また，サーバ近傍で多くの帯域を必要とするため実用的でない．階層符号化は，サイマルキャストと比較して符号化，送出処理のオーバーヘッドが小さいが，符号化アルゴリズムによって階層数に制限があり，また，階層の組み合わせによって画質やレートを選択するため多様な要求品質に対応できない，といった問題がある．動画像品質調整を利用する手法では，トランスコードなどの動画像品質調整装置をボトルネックリンクの前段やネットワークのエッジなどに設置し，これら装置が動画像サーバから受信した高品質な動画像データを下流のクライアントにあわせて品質調整する．したがって，あらかじめクライアントの要求品質を予測し，適切な位置に適切に設定した動画像品質調整装置を設置することができれば，効率的な動画像マルチキャスト配信が可能となる．しかしながら，クライアントシステム性能やネットワーク環境によって決定される要求品質をあらかじめ正確に予測するのは困難であり，また，ネットワークの負荷変動や利用者による設定変更などで生じる要求品質の変化に柔軟に対応することができない．

アクティブネットワークでは，ネットワーク管理者やサービス提供者，サービス利用者が，アクティブノードと呼ばれる高機能ノードにプログラムコードを導入し，高度なパケット処理能力を持たせることにより，ネットワークサービスやアプリケーションに応じて柔軟かつ動的にネットワークの振る舞いを変更することが可能である [1]．したがって，配信される動画像に対するクライアントの要求品質の変化に応じて，適切なアクティブノードで動的に動画像品質調整を行えば [2]，様々な要求品質に効率的に対応することのできる実時間動画像マルチキャスト配信が可能になる．本稿では，動画像品質調整可能な複数のアクティブノードからなるアクティブネットワークにおいて，動画像に対する要求品質の様々な異なる複数のクライアントに対して適切な品質の動画像をマルチキャスト配信するためのフレームワークを提案する．

提案する実時間動画像マルチキャスト配信システムでは，複数のスタブ・ネットワークとそれらを結ぶコア・ネットワークからなる階層的なネットワークを対象にしている．動画像配信サービス開始時には動画像サーバによる集中制御によってネットワーク全体での動画像マルチキャスト配信ツリーを構成し，動画像データのマルチキャスト配信中にはスタブ・ネットワーク内のアクティブノードがネットワークの負荷状態変動などに応じて，柔軟にマルチキャストグループを再構成するとともに，クライアントにあわせて適切に品質調整された動画像データをそれぞれのマルチキャストグループで配信する．

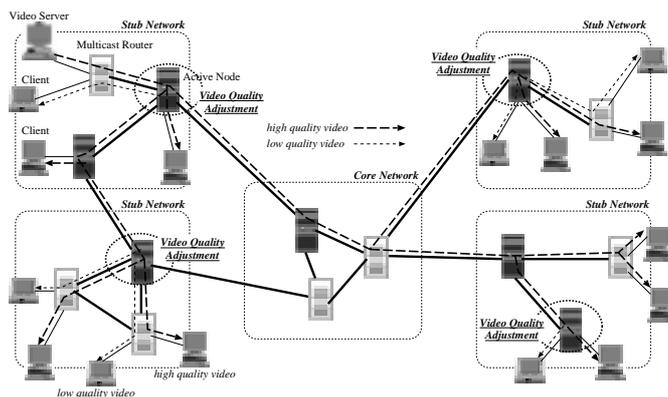


図 1 実時間動画像マルチキャストシステム

Fig.1 Active real-time video multicast system

以下，2. では提案するフレームワークの概要，動作手順を述べ，3. ではネットワーク全体での動画像配信ツリーの構築アルゴリズムを，続く 4. ではスタブ・ネットワーク内での動的なマルチキャストグループ再構成手法についてそれぞれ述べる．最後に，5. において本稿をまとめる．

2. アクティブネットワーク技術を利用した実時間動画像マルチキャストシステムの概要

本稿で提案するフレームワークでは，図 1 に示すような複数のスタブ・ネットワークとそれらを結ぶコア・ネットワークから成る階層構造をなしたネットワークにおける実時間動画像マルチキャストを対象とする．システムは，一台の動画像サーバ，それぞれ置かれる環境の異なる複数のクライアント，複数のルータ，複数のアクティブノード，およびそれらを結ぶ様々な容量の複数のリンクからなる．アクティブノードは，動画像サーバからのプログラム挿入などにより，動画像品質調整機能およびマルチキャストサーバ機能など必要な機能を提供するように設定可能であるものとする．

アクティブノードは，スタブ・ネットワーク内のクライアントから動画像配信サービス参加要求を受信すると，クライアントに対して動画像データを配信するローカルサーバとして機能する．ローカルサーバは動画像サーバあるいは他のアクティブノードから動画像データを受信し，クライアントの要求品質やスタブ・ネットワークの負荷状態などを考慮して動的に構成した複数のマルチキャストグループを管理，それぞれ異なる品質に調整した動画像データを配信する．クライアントはスタブ・ネットワーク内のローカルサーバによって指定されたマルチキャストグループに参加し，適切な品質に調整された動画像データを受信，再生する．同一スタブ・ネットワーク内のローカルサーバは，互いに協調し，スタブ・ネットワーク内のクライアントを分担管理する．

提案システムの具体的な動作手順は以下のとおりである．

(1) サービス情報の通知

動画像サーバは，動画像のタイトルや時間，配信開始時刻，提供される品質種別，受信・再生に必要なシステム要件など動画像マルチキャスト配信サービスに関する情報を，SAP

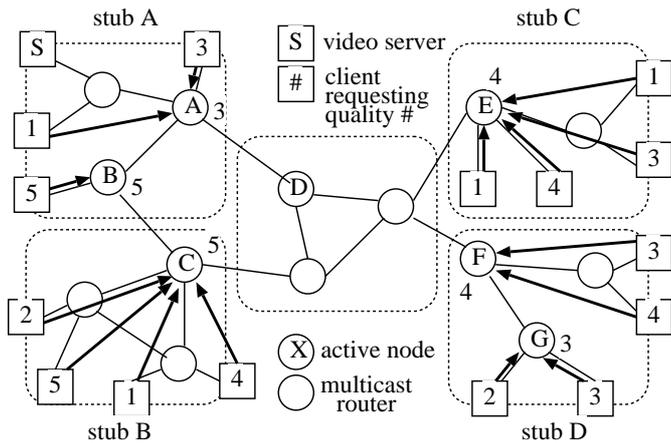


図2 手順2, 3の実行例
Fig.2 Example of steps 2 and 3

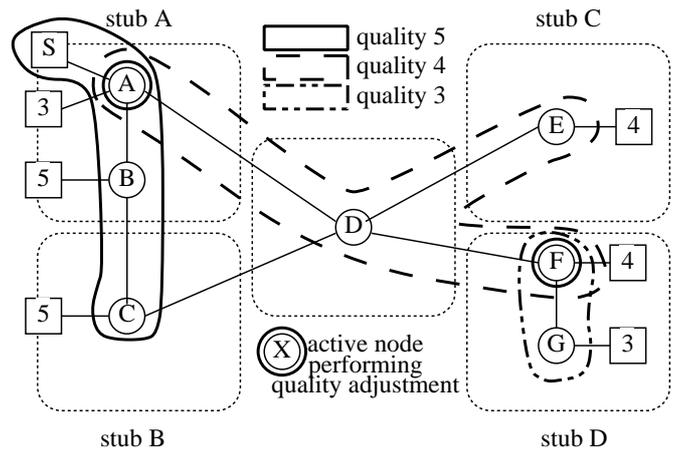


図3 手順4の実行例
Fig.3 Example of step 4

(Session Announcement Protocol)やSDP (Session Description Protocol)を用いて、ネットワーク利用者に通知する。

(2) サービスへの参加

クライアントは、近傍のアクティブノードにサービス参加メッセージを送信することにより、サービスへの参加を表明するとともに、利用者の好みやクライアントシステムの制限などによって決定される動画品質の最大値を通知する。クライアントは、サービス参加メッセージを送ったアクティブノードによって管理される。ただし、マルチキャストグループ再構成によって他のアクティブノードに管理が委譲される場合がある。サービス参加メッセージを含め、メッセージやデータには必要に応じて ANEP (Active Network Encapsulation Protocol) ヘッダ [1] が付加されており、アクティブネットワーク技術にもとづくパケット処理が適用される。サービス参加メッセージを受信したアクティブノードは、必要なアクティブアプリケーションを取得、実行することにより、動画品質調整機能やマルチキャストサーバ機能などを獲得し、ローカルサーバとなる。

(3) 要求品質の集約

ローカルサーバは、クライアントからの要求品質のうち最も高いものについて動画サーバに通知する。

図2に上記手順2および3の実行例を示す。図はA, B, C, およびDの四つのスタブ・ネットワークとそれらをつなぐコア・ネットワークからなるネットワークを表している。図中、Sと書かれた四角は動画サーバ、アルファベットの書かれた白丸はアクティブノード、白丸はマルチキャストルータをそれぞれ表す。また、数字の書かれた四角はいずれもクライアントを表しており、それぞれの数字はクライアントが申告した要求品質を示している。なお、ここでは動画品質は1~5の5段階で表記され、1が最低品質の動画を、5が最高品質の動画を意味する。クライアントは、矢印で指したアクティブノードに対して要求品質を申告する。アクティブノードは、受信した要求品質を集約し、最も高い要求品質をサーバに通知する。図では、それぞれのアクティブノードから動画サーバに通知される要求品質を、アクティブノードの隣に示す。

(4) 動画配信ツリーの構築

動画サーバは、ネットワークのトポロジ、アクティブノードの負荷状態、および要求品質にもとづいて、ローカルサーバに動画を配信するための階層化されたマルチキャストツリーを構築する。ツリー構築アルゴリズムについては3.で述べる。

図3に手順4の例を示す。手順4では、動画サーバ、最高品質の動画を要求する1台の仮想クライアントだけが接続されたアクティブノード、および、アクティブノード間を結ぶ最短経路を表す仮想リンクによって構成される論理ネットワークについて、動画配信ツリー構築アルゴリズムを適用する。ツリー構築の結果、動画サーバからはローカルサーバA, B, Cに対して最高品質の動画がマルチキャスト配信されることとなる。ローカルサーバAは、受信した最高品質の動画に品質調整を適用することにより品質4の動画データを生成し、マルチキャストサーバとなってローカルサーバEおよびFに配信する。さらにローカルサーバFは品質4の動画データから品質3の動画データを生成し、ローカルサーバGに対してマルチキャスト配信する。このようにアクティブノードにおける動画品質調整を利用して階層的にマルチキャストグループを構成することにより、様々な品質の動画を効率的に配信することができる。なお、マルチキャストツリーはマルチキャストプロトコルによって構築される。また、ネットワークのトポロジ、アクティブノードの負荷状態、および要求品質の変化に対応するため、随時動画配信ツリーを再構築する。

(5) ローカルサーバの設定

動画サーバは、全てのローカルサーバに、動画データの受信のためのマルチキャストグループのアドレスを通知する。

(6) クライアントの収容

ローカルサーバは、自身の管理する全てのクライアントを単一のマルチキャストグループに収容し、マルチキャストグループアドレスをクライアントに通知する。このマルチキャストグループでは、クライアントの要求品質のうち最も低いものにあわせて品質調整された動画データが配信されるが、4.に述べる手法により動的にマルチキャストグループが再構成され、ク

クライアントは置かれた環境に応じた適切な品質の動画を受信することになる。

(7) 動画配信ツリー上での動画マルチキャスト配信

動画サーバは、手順4の結果にもとづいて、動画データを生成、マルチキャスト配信する。ローカルサーバは、動画サーバまたは他のローカルサーバから動画データを受信する。また、必要に応じて、品質調整を行った後、他のローカルサーバへマルチキャスト配信する。

(8) スタブ・ネットワークでの動画マルチキャスト配信

ローカルサーバは、受信した動画データをスタブ・ネットワーク内でマルチキャスト配信する。配信される動画は、マルチキャストグループに属するクライアントの要求品質のうち最も低いものや下位層のレート制御機構の指定するデータ転送レートにあわせて品質調整される。

例えば、帯域使用におけるTCPとの公正性を考慮したマルチメディアマルチキャスト通信のためのレート制御機構として、TFMCC(TCP-friendly multicast congestion control) [3]がある。TFMCCでは、それぞれのクライアントはパケット棄却率とマルチキャストサーバとのRTTから、TCPと公平なデータ転送レートを算出し、サーバにフィードバック情報として送信する。一方、サーバはクライアントの算出したレートのうち最も低いものをマルチキャスト通信におけるデータ転送レートとして選択する。したがって、TFMCCを用いた場合には、クライアントのうち最も受信レートの低いものに動画データ転送レートがあうよう、動画品質調整を行うこととなる。

(9) 動的なマルチキャストグループ再構成

ローカルサーバは、クライアントの要求品質や動画データ受信状態の変化に応じてマルチキャストグループを分割(split)、統合(merge)、移動(move)する。例えば、マルチキャストグループ内のクライアントのデータ受信状態が大きくなればつきがある場合には、マルチキャストグループを分割し、それぞれに適した品質の動画データを配送する。一方、同程度の動画データを配信する二つのマルチキャストグループがある場合には、これらを一つのマルチキャストグループに統合する。また、マルチキャスト配信全体の品質向上を図るため、マルチキャストツリーのトポロジが変化することによりボトルネックリンクが回避され、受信状態が向上することを期待し、マルチキャストグループの管理を同一スタブ・ネットワーク内の他のアクティブノードに移す。マルチキャストグループ再構成の詳細なアルゴリズム、メカニズムについては4.で述べる。

3. 動画配信ツリーの構築

手順(4)では、動画サーバからローカルサーバに動画データを配信するための階層的なマルチキャストツリーを構築する。具体的なツリー構築アルゴリズムは以下になる。なお、アルゴリズムの詳細については文献[4]を参照されたい。

まず、仮想クライアントを要求品質降順に並べる。リストの先頭、すなわち要求品質の高い仮想クライアントから順に番号をつけ、 v_i と表記する。動画サーバは、仮想クライアント v_1 から順に、動画サーバおよび全てのアクティブノードの中か

ら、アクティブノードの処理能力、ツリー構築の効率性などを考慮して、仮想クライアントに対して動画データを提供するものを決定していく。以降では、動画サーバおよび全てのアクティブノードを候補ノードと呼ぶ。

候補ノードとしては、仮想クライアント v_{i-1} までの処理において構築されたマルチキャストツリーに含まれ、仮想クライアント v_i の要求品質を上回る動画データの中継、配信しているもの、あるいは、仮想クライアント v_{i-1} までの処理において構築されたマルチキャストツリーに含まれ、仮想クライアント v_i の要求品質と同じ動画データの中継、配信しているもの、および、動画データの中継、配信していないもの、がある。高品質な動画を利用可能な候補ノードが選択された場合には、候補ノードは仮想クライアント v_i の要求品質にあわせて動画データを品質調整し、新たにマルチキャストグループを設定し、クライアント v_i を収容する。同品質の動画を利用可能な候補ノードが選択された場合には、仮想クライアント v_i は該当する動画データを配信するマルチキャストグループに参加すればよい。また、動画データの中継、配信していない候補ノードが選択された場合には、候補サーバは近傍の他の候補サーバから動画データを受信し、新たなマルチキャストグループを設定し、仮想クライアント v_i の要求品質にあわせて品質調整した動画データをマルチキャスト配信する。

4. 動的なマルチキャストグループ再構成

2.で述べたとおり、サービス開始直後は、ローカルサーバによって管理されるクライアントは、要求品質によらず単一のマルチキャストグループに収容され、全てのクライアントが受信、再生可能なよう最低の要求品質にあわせて調整された動画を受信する。ローカルサーバは、クライアントから収集した要求品質やデータ受信状態に関するフィードバック情報にもとづいて、定期的にマルチキャストグループを分割(split)、統合(merge)、移動(move)することにより、より適切な動画データの配信を行えるよう、マルチキャストグループを再構成する。本章では、マルチキャストグループの分割、統合、移動のアルゴリズムおよびメカニズムを述べる。

なお、以降では、動画マルチキャスト配信のためのレート制御機構としてTFMCCが用いられているものとし、ローカルサーバはTFMCCによって定められたデータ転送レートに一致するよう動画を品質調整、配信するものとする。

また、データ転送レートの安定していないマルチキャストグループはグループ再構成の対象としない。TFMCCでは、フィードバック受信ごとにデータ転送レートを再計算するが、クライアントのフィードバック送信は定められた制御間隔内で1回に制限されているため、レートの安定には時間がかかる。そこで、マルチキャストグループ再構成の制御間隔をTFMCCの制御間隔より十分大きく設定し、先の制御タイミングとのデータ転送レートの変化が小さいマルチキャストグループを再構成の対象とする。

4.1 マルチキャストグループの分割

ローカルサーバは、まず、クライアントのTFMCCレート

のばらつきの大きいマルチキャストグループの分割を試みる。TFMCC レートとは、クライアントがパケット棄却率、RTT から算出した TCP と公平なデータ転送レートである。TFMCC は、ローカルサーバへのフィードバックトラヒックの集中による輻輳を避けるためのフィードバック抑制機構を有しているが、本研究ではこれを用いず、全てのクライアントはある送信間隔にしたがってフィードバック情報をローカルサーバに送信する。

N_i 台のクライアントの収容されたマルチキャストグループ G_i ($1 \leq i \leq M$) における TFMCC レートのばらつきは、変動係数 $C_i = \frac{\sigma_i}{\mu_i}$ によって表される。 M はローカルサーバの管理するマルチキャストグループのうち、動画データ転送レートが安定しているものの数である。また、 σ_i および μ_i は、マルチキャストグループ G_i における TFMCC レートの分散と平均をそれぞれ表す。なお、マルチキャストグループ G_i のメンバーであるクライアント $c_{i,j}$ ($1 \leq j \leq N_i$) の TFMCC レートは、 $r_{i,j}$ で表記するものとする。また、マルチキャストグループはデータ転送レート昇順に、クライアントは TFMCC レート昇順に番号付けされる。したがって、マルチキャストグループ G_i のデータ転送レートは $r_{i,1}$ となる。

ローカルサーバは、まず、変動係数 C_i ($1 \leq i \leq M$) を計算する。最も大きい変動係数 $C_m = \max(C_i)$ が閾値 T_s 以上ならば、マルチキャストグループ G_m を二つに分割する。分割後のマルチキャストグループでの TFMCC レートのばらつきが小さくなるよう、分割後のマルチキャストグループには、番号の連続したクライアントが収容される。例えば、分割点を k とすると、クライアント $c_{m,1} \sim c_{m,k-1}$ からなるマルチキャストグループとクライアント $c_{m,k} \sim c_{m,N_m}$ からなるマルチキャストグループに分割される。したがって、マルチキャストグループ G_m には N_m 台のクライアントが含まれるため、 $N_m - 1$ とおりの分割が可能である。ローカルサーバは、全ての分割のうち、分割後の二つのマルチキャストグループの変動係数の平均値が最小のものを選択する。

クライアント $c_{m,k} \sim c_{m,N_m}$ を収容するマルチキャストグループには新たなマルチキャストグループアドレスが割り当てられ、TFMCC レート $r_{m,k}$ にあわせて品質調整した動画データが配信される。なお、データ転送レート $r_{m,k}$ の動画データがローカルサーバの提供可能な品質を上回る場合には、ローカルサーバは動画サーバに高品質な動画データの配信を要求し、動画サーバまたは他のローカルサーバからの新たな動画データ配信が開始されるまで提供可能な最高品質の動画データを配信する。

4.2 マルチキャストグループの統合

マルチキャストグループの分割の後、ローカルサーバは、同程度の品質の動画を配信する二つのマルチキャストグループの統合を試みる。

まず、番号の連続する二つのマルチキャストグループの組み合わせ G_i と G_{i+1} について、データ転送レート $r_{i,1}$, $r_{i+1,1}$ の変動係数 V_i を求める。ただし、不要なグループ再構成を避けるため、同一制御タイミングにおいて分割の対象となったマルチキャストグループについては統合を試みない。したがって、

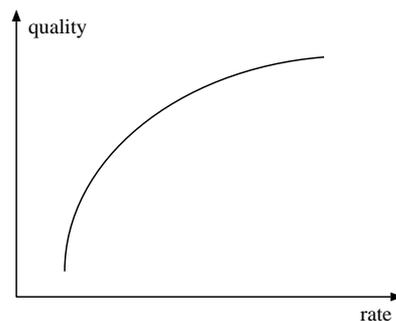


図 4 レートと品質の関係

Fig. 4 Relationship among video rate and video quality

同じ制御タイミングにおいてグループ分割を行った場合には $1 \leq i \leq M - 3$, そうでない場合には $1 \leq i \leq M - 1$ となる。

最も小さい変動係数 $V_m = \min(V_i)$ が閾値 T_m 以下ならば、マルチキャストグループ G_m および G_{m+1} を統合して新たなマルチキャストグループとする。統合後の動画データ転送レートは $r_{m,1}$ となるため、マルチキャストグループ G_{m+1} のクライアントにグループ G_m のマルチキャストグループアドレスを通知し、マルチキャストグループ G_{m+1} を解放する。

4.3 マルチキャストグループの移動

マルチキャストグループの統合の後、ローカルサーバは、同一スタブ・ネットワーク内の他のアクティブノードへのマルチキャストグループの管理換えを試みる。

マルチキャストサーバの変更により、下位層のマルチキャストルーティングプロトコルにより決定されるマルチキャストツリーが変化し、より負荷が低く空き帯域の多いリンクを通るようなトポロジになれば受信状態の向上が期待できる。ローカルサーバの管理する全てのマルチキャストグループについて、移動による品質向上の可能性があり、どのマルチキャストグループを移動の対象にするかについては、そのマルチキャストグループの移動によって動画マルチキャスト配信サービス全体の品質がどれだけ向上するかを考慮しなければならない。しかしながら、マルチキャストグループの移動による品質向上の程度はあらかじめ予測不能である。

提案手法では、一般的に動画における符号化レートと品質の関係は図 4 に示すような上に凸な関数になることから、移動による品質向上の度合いはデータ転送レートが低いマルチキャストグループの方が大きいことが期待されると考え、最もデータ転送レートが低いグループ G_1 について移動を試行する。ただし、不要なグループ再構成を避けるため、同一制御タイミングにおいて分割または統合の対象となったマルチキャストグループは対象としない。

まず、ローカルサーバ(現サーバと呼ぶ)は、マルチキャストグループ G_1 の移動先候補となるアクティブノードを決定し(これを候補サーバと呼ぶ)、テストデータの送出準備を要求するとともに、クライアントにテスト用マルチキャストグループへの参加を要求する。候補サーバは、必要に応じてローカルサーバとなるためのアクティブアプリケーションを獲得、テスト用の動画データの受信設定を行う。なお、サーバ移動時の

表 1 ボトルネックリンクの位置とデータ転送レートの変化の関係
 表 2 Summary of rate variations; before, within, and after examination

		候補ツリー						
		テスト中のボトルネック						
		独立リンク			共有リンク			
		移動後のボトルネック			移動後のボトルネック			
現 ツ リ ー	テ ス ト 前 の ボ ト ル ネ ッ ク	独立 リン ク	テ ボ ス ト ル 中 ネ ッ ク	独 立 リン ク	共 有 リン ク	独立 リン ク	共 有 リン ク	
		独立 リン ク	共 有 リン ク	独立 リン ク	共 有 リン ク	独立 リン ク	共 有 リン ク	
	共 有 リン ク	テ ボ ス ト ル 中 ネ ッ ク	独 立 リン ク	共 有 リン ク	独立 リン ク	共 有 リン ク	独立 リン ク	共 有 リン ク
	共 有 リン ク	共 有 リン ク	共 有 リン ク	共 有 リン ク	共 有 リン ク	共 有 リン ク	共 有 リン ク	共 有 リン ク
			$\begin{cases} T_a > R_p, & \text{if } T > R \\ T_a \leq R_p, & \text{if } T \leq R \end{cases}$	N/A		$T_a > T \geq R = R_p$	$T_a > T > R = R_p$	
			$R_p > R > T > T_a$	N/A		$R_p > R = T < T_a$	$R_p > R = T < T_a$	
			N/A	N/A		N/A	N/A	
			$R_p > R > T = T_a$	N/A		$R_p > T_a > T = R$	$T_a = R_p > R = T$	

動画像受信，再生の途切れを引き起こさないよう，現サーバと同じ動画像データをテストデータとして用いる。

次に，ローカルサーバは，クライアントおよび候補サーバのテスト準備が完了すると，候補サーバにテスト開始を要求する。候補サーバは，TFMCCによりレート制御されたテストデータをテストのためのマルチキャストグループアドレスを用いてマルチキャスト配信する。一方，クライアントは，TFMCCの制御メカニズムにもとづいて，現サーバからの動画像配信，候補サーバからの動画像配信，双方についてTFMCCレートを計算し，フィードバック情報をそれぞれのローカルサーバに送信する。なお，テストデータは受信と同時に廃棄される。

テストデータのマルチキャスト配信が安定したと判断すると，候補サーバは，データ転送レートをテスト結果として現サーバに通知する。テスト結果メッセージを受信した現サーバは，テスト結果とフィードバック情報にもとづき，サーバ変更により受信状態の向上が期待できるかどうかを判断する。

マルチキャストツリーにおけるテスト前，テスト中，グループ移動後のボトルネックリンクの位置の変化に着目すると，現サーバからのマルチキャストツリーにおけるボトルネックリンクがテスト前とテスト中で変化するかどうか，候補サーバからのマルチキャストツリーにおけるボトルネックリンクがテスト中と移動後で変化するかどうか，テスト中に二つのマルチキャストツリーの共有リンクがボトルネックとなるかどうか，によって16通りの状況が想定される。テスト前の現サーバからのデータ転送レート R_p ，テスト中の現サーバからのデータ転送レート R ，テスト中の候補サーバからのデータ配信レート T ，移動後のデータ転送レート T_a について，表2に示す関係が成立する。なお，現サーバからのマルチキャストツリーを現ツリー，移動先となる候補サーバからのマルチキャストツリーを候補ツリーと呼び，また，マルチキャストツリー間で共有されるリンクを共有リンク，そうでないリンクを独立リンクと呼

ぶ。テスト完了時に現サーバが利用可能な情報である R_p ， R ， T の関係に着目すると，表より， $T > R$ のとき，すなわちテスト中に候補ツリーにおける転送レートが現ツリーにおける転送レートを上回れば，マルチキャストグループ移動により動画像データ転送レートが向上し， $T_a > R_p$ となる。

5. おわりに

本稿では，階層構造をなすネットワークにおいて，アクティブネットワーク技術を用いることにより，それぞれ要求する動画像品質の異なる複数のクライアントに適切な品質の動画像を実時間マルチキャスト配信するフレームワークを提案した。動画像品質調整可能なアクティブノードが互いに協調し，ネットワークの負荷変動や要求品質の変化に動的かつ柔軟に対応することにより，効率的かつ効果的な動画像配信が可能になると考えられる。

今後は，シグナリングプロトコルや具体的な制御メカニズム，制御パラメータなど，本稿で提案した手法の詳細について検討していく。

文 献

- [1] S. F. Bush and A. B. Kulkarni, *Active Networks and Active Network Management*. Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2001.
- [2] T. Yamada, N. Wakamiya, M. Murata, and H. Miyahara, "Implementation and evaluation of video-quality adjustment for heterogeneous video multicast," in *Proceedings of APCC 2002*, (Bandung), pp. 454–457, September 2002.
- [3] J. Widmer and M. Handley, "TCP-friendly multicast congestion control (TFMCC): protocol specification," *IETF Internet Draft (draft-ietf-rmt-bb-tfmcc-01.txt)*, Nov. 2002.
- [4] H. Akamine, N. Wakamiya, M. Murata, and H. Miyahara, "An approach for heterogeneous video multicast using active networking," in *Proceedings of IWAN 2000*, (Musashino), pp. 157–170, October 2000.