一般
投稿論文

アプリケーション層マルチキャスト（ALM）による多地点配信システムのビデオ会議端末への搭載

吉田 達哉[†1]　バデゥゲ ティルミー[†1]　米田 孝弘[†1]　後藤 博喜[†1]
村本 衛一[†1]　金子 仁[†2]　森田 直樹[†2]

[†1]パナソニック（株）　[†2]パナソニックシステムネットワークス（株）

ブロードバンド回線の普及に伴い，映像・音声による通話の利用が進んでおり，双方向のビデオ会議にとどまらず，企業の方針伝達や遠隔講義における多地点への片方向配信などへ活用が拡大している．現在，片方向配信は品質確保のために専用サーバによるシステムが利用されているが，高コストとなる課題があった．本論文では，低コストで片方向配信を実現する，ビデオ会議端末を利用したアプリケーション層マルチキャスト（ALM）方式によるシステムについて述べる．本システムでは，ALM 方式の課題である端末離脱時のストリームの中断を端末の離脱や参加を検知する死活管理で，インターネットでの映像・音声品質確保を適応レート制御や再送による QoS 制御で解決した．また，ネットワークエミュレーション環境および実ネットワーク上において評価実験を行い，本システムが安定した品質の片方向配信を実現できることを確認した．

1. まえがき

ブロードバンド回線の普及に伴い，企業，教育機関や家庭で映像・音声による通話（以後，ビデオ会議と記す）の利用が進んでいる．ビデオ会議にはPC上のソフトウェアで実現しているものと，専用の組込み機器（以後，ビデオ会議端末と記す）によるものがある．業務用途などで，フルHD（解像度1920×1080）の高画質が求められる場合は，メディア処理能力の関係からビデオ会議端末が利用されている．

ビデオ会議の利用法として，1対1または多拠点とのビデオ会議のほか，1対多の映像･音声の片方向配信（以後，配信と略記）がある．配信は企業の方針伝達や大学の遠隔講義等に活用されている．

これまで配信には専用サーバを用いた配信システムが利用されてきたが，導入，運用等の費用が大きいというコスト面の解決できない課題がある．一方，アプリケーション層マルチキャスト（Application Layer Multicast：以後，ALMと略記）方式は，コスト面の課題はクリアできるが，端末離脱（ネットワーク切断や電源断などで端末が通信不能になること）時に映像・音声が乱れる，インターネット回線利用時の映像・音声品質（Quality of Service：以後，QoSと略記）確保が困難という課題がある．そこで，ALM方式の品質面での課題を解決することで実用化を目指す．本論文では，ALM方式を採用し，ビデオ会議端末上に実装した配信システムについて述べる．本論文で述べるシステムは独自の方式によりALM方式の品質面での課題を解決し，途切れや乱れの少ない安定した配信を実現した．

ALM方式の提案は多数あるが，ビデオ会議端末へ搭載し実用化検証まで実施した例は今まで報告されておらず，筆者らが知る限り本システムが最初の事例といえる．

性能評価として，ネットワークエミュレーション環境[1]および海外を含めた実ネットワーク上での実験を行い，本システムが配信システムとしての要求条件を満たし，安定した品質の配信が実現できていることを確認した．

本論文では，第2章で既存の配信システムとの比較を示し，第3章で本システムの要件と実装仕様および方式の特徴について記述した後，第4章でシステムの詳細について述べる．次に第5章で性能評価の結果を示し，最後に第6章でまとめを述べる．

2. 配信システムの方式選定

ここでは，関連する各種配信システムを比較し，ALM方式を採用した理由について述べる．

2013 ©Information Processing Society of Japan

2.1　専用サーバを利用した配信システム

ビデオ会議端末での配信の実現手段として，多地点接続装置（Multipoint Control Unit：以後，MCUと略記）[2]を利用する方法がある．MCUは，各拠点と1対1に直接接続する構成で多拠点のビデオ会議を実現する．MCUは全拠点と接続するために安定した広帯域の回線が必要になるなど運用コストが高いこと，高い処理性能が必要なためMCU自体が高価格となることなどの課題がある．

配信を実現する商用サービスとしては，IPTV向けの映像配信システム[3],[4]がある．これらのシステムは，インターネット回線を利用して映像配信サーバからデジタルテレビなどのIPストリーミングに対応したコンシューマ機器[5]に対し映像・音声を配信する．これらのシステムは，再生までの遅延が大きい，サーバ側の機器コストや運用コストが非常に高いという課題がある．

2.2　衛星配信システム

既存の配信システムとして，通信衛星による配信システム[6]がある．衛星による配信は多数の受信拠点に安定したデータ配信が可能であるが，各拠点の受信設備や通信衛星の利用など，必要なインフラが大規模で高コストになる課題がある．

2.3　マルチキャストによる配信システム

マルチキャストによる配信として，IPマルチキャスト方式[7]による配信システムの利用が検討されてきた．IPマルチキャストはネットワーク利用効率がよいが，QoSの機能をもたせることが困難で，ライブストリーミングにおいて高品質を保つことが難しく，帯域確保が可能な特定の網内で運用されている[8].

IPマルチキャストに代わる配信手法として，ALMによる配信が提案されている[9],[10],[11],[12],[13],[14].ALMは各端末がパケットの複製や転送といったマルチキャストの機能を行うことで，仮想的なマルチキャストを実現する．ALMのデータ転送方式を大きく分類すると，データ配信木を用いて根から葉へ木構造で一方向にデータを転送するツリーベースの方式，隣接ノード間で相互にデータを送受信するメッシュ型の方式がある．ALMはIPマルチキャスト同様ネットワーク利用効率が高く，配信サーバや衛星による配信に比べ低コストの運用が可能である．また，IPマルチキャストと異なりQoSの機能を持たせることができ，帯域変動のあるインターネット環境でライブストリーミングが実現可能である．そのため，今回の配信システムの方式としてALMを採用した．

ALMを利用した商用の配信システムとして，BBブロードキャスト[15],[16]やUG Live[17],[18]がある．これらのシステムでは，受信側はメッシュ型のオーバレイネットワークを構成し，配信サーバからだけでなく複数の隣接拠点からデータを受信する．これらのシステムは，ネットワークを通じて放送のような大規模配信を実現する際に，高品質な映像・音声を低コストで送信できる．しかし，配信先端末の状態把握や管理が困難，データの経路が分割され遅延やジッタ（パケット到着順や時間の乱れ）が大きくなる，といった点で課題があり，途切れや乱れのない安定した映像音声をリアルタイムに送ることには適していない．

本論文のシステムは，業務用途でのライブストリーミングを主な利用形態と想定するため，映像の乱れ，音声の途切れは最低限に抑える必要がある．そこで，配信のリアルタイム性を重視して遅延やジッタが小さいツリーベースのALM方式を採用し，ツリーベース方式で問題となる端末の離脱への対応とQoS確保を実現する方式を導入している．

3. 想定使用環境，システム要件と実装方式

ここでは，本配信システムの想定環境を明確化し，それに適合するために抽出したシステム要件，およびそれらシステム要件を満たすための実装方式について説明する．

3.1　想定使用環境

ライブストリーミングとして，日本国内，または日本から東アジア・東南アジア各国への配信での使用を想定する．使用回線は，光回線等のブロードバンド回線で10Mbps程度の実効帯域を想定する．

3.2　システム要件

筆者らの計測では，3.1節で述べた配信先エリアにおける端末間の往復遅延時間（Round Trip Time：以後，RTTと略記）およびパケットロス率（Packet Loss Rate：以後，PLRと略記）の平常値は，それぞれ100ms，3％程度であった．そこで，これらのRTT，PLRにおいて，大きな帯域変動や端末の離脱や参加のない安定した環境であれば映像・音声の乱れが発生しないこと，端末の離脱が発生し配信木の構成が変更になる場合でも5秒以上

映像・音声の乱れが発生しないこと，急峻な帯域変動があっても追従できること，ライブストリーミング用途を想定し再生の遅延は2秒以内となることを本システムの要件とした．中継している端末の離脱による映像・音声の乱れはツリーベースのALM方式特有の課題であるが，筆者らが行った予備実験では5秒程度の乱れであれば視聴者の主観評価への影響が少ないことが分かったため，システム要件として映像・音声の乱れを5秒に抑えることとした．一方，再生の遅延はリアルタイム性を重視し短い値を目標とした．専用サーバを用いたシステムでは再生の遅延は数十秒から数分単位と長めであることが多く，遜色ないシステム要件となっていると言える．

また，資料を使った講義や動きのあるデモンストレーションなど，多用な用途に活用できるよう，配信コンテンツは回線安定時には高画質，高フレームレート（最大でフルHD画質，60fps）のものを送信できることをシステム要件とした．

3.3 実現方式

想定使用環境であるインターネット回線は帯域が保障されておらず，利用可能帯域が変動するため，本システムでは映像・音声の送信レートをネットワーク状況に応じて変動させる適応レート制御を導入した．また，パケットロスは再送と前方誤り訂正（Forward Error Correction：以後，FECと略記）により回復を行う[19].

前述のとおり，低コストとリアルタイム性を両立させるため，配信端末を根とするツリーベースのALM方式で伝送する．また，高画質，高フレームレートのコンテンツを送信するのに必要十分な値として送信ストリームの最大帯域を5Mbpsとし[20]，想定している回線帯域が10Mbpsであることから1端末からの転送先は最大で2端末とした．

ツリー構成のALMは端末離脱時に転送先への配信ストリームが途切れるため，端末の離脱や参加を検知する死活管理機能により端末の離脱を検知し，配信木を自動で再構築して復旧する方式とした．

また，フルHDのライブストリーミングを実現するため，専用のメディア処理プロセッサを持つビデオ会議端末上にシステムを実装する．

4. ALM配信システムの実装

ここではシステムの詳細を，全体構成，ALM配信制御，パケット複製転送機能，QoS制御，実装の順に述べる．

4.1 システム全体構成

本節では，ALM配信システムの構成・機能配置について示す．構成要素は操作端末，配信端末，中継端末，受信端末からなる．各構成要素が担う機能を**表1**に示す．

端末の離脱等により配信木の再構成が発生した際には，新たな構成にあわせ中継端末，受信端末の機能が動的に切り替わって動作し，配信を継続する．**図1**に本システムの論理ネットワーク構成を示す．本システムは前述したように二分岐の木構造で構成されている．

4.2 ALM配信制御

4.2.1 配信木管理機能

配信木は配信端末を根とする二分岐の木構造で，最大で5段31台の端末で構成される．**図2**に数字で示すように，配信木上の位置を位置IDで管理する．また，各参加端末には端末IDを指定し，どの位置IDにどの端末IDが配置されているかで配信木を管理する．

表1 各構成要素の機能

構成要素	機能
操作端末（タブレットPC等）	中継・受信端末の選択・管理
	配信端末の操作（開始，終了等）
配信端末（ビデオ会議端末）	配信木管理
	中継・受信端末の死活管理
	ストリーム生成・送信（適応レート制御）
中継端末（ビデオ会議端末）	パケット複製転送
	ストリーム再生
	再送制御
受信端末（ビデオ会議端末）	ストリーム再生

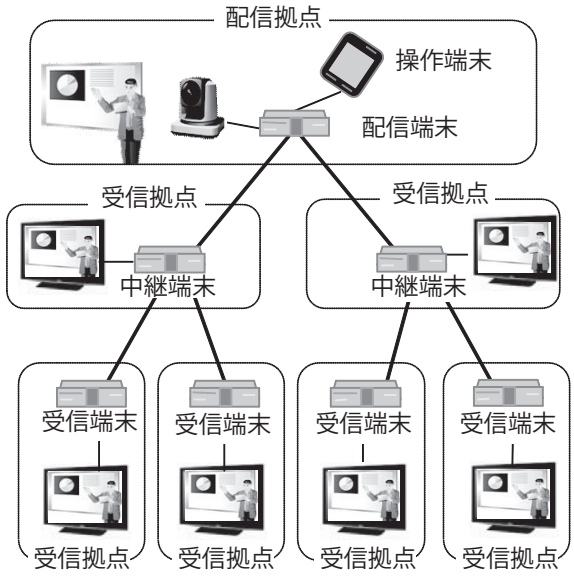

図1 論理ネットワーク構成

4.2.1.1　配信木計算

配信木計算は，配信開始前に実施される初期配信木の計算，配信中に端末の離脱または参加が発生したときに実施される配信木の再計算からなる．

以下の説明では，ある端末からみてストリームの直接の転送元端末を親端末，直接の転送先端末を子端末と呼び，配信元から該当端末まで転送している経路を上流，該当端末から転送している先の経路を下流と記す．

【初期配信木】

配信開始時の初期配信木においては，各端末はユーザが指定した端末IDと一致する位置IDの位置に配置される．

【配信中端末離脱時の配信木計算】

配信中に中継端末が離脱すると，下流の端末ではストリームが停止する．よって，離脱した端末の下流にある端末を上流の配信木に復帰させ，ストリームを継続させる必要がある．本システムにおいては，離脱した端末の子端末を離脱端末の位置に昇格させるアルゴリズムを採用した．具体例を**図3**に示す．

図3の端末2が離脱すると，その子端末である端末6（離脱した端末の子端末のうち，最も大きい位置IDの位置にいる端末を選択する）が端末2の位置に配置され，端末4が端末6の子端末になる．昇格した端末に子端末がいる場合，離脱した端末同様に下流の端末を昇格させる．図3の例では，端末14が端末6の位置に配置され，端末10が端末14の子端末となる．

【配信中端末参加時の配信木計算】

配信中に端末参加が発生したときは，すでに配信に参加している端末への影響がないよう，空いている位置に接続するアルゴリズムを採用した．ここで，空いている位置とは配信木（図2）の各位置IDのうち，端末が配置されていない位置である．また，空いている位置が複数あった場合に，位置IDが最も小さい位置に配置する．

4.2.1.2　配信木情報の分配

本システムでは，計算して求めた配信木のうち必要な情報だけをそれぞれの端末に分配する．これは，分配に要する通信量を削減するためである．具体的には，各端末の親端末と子端末のアドレス情報（以後，配信木情報と記す）のみを伝える．たとえば，図2の初期配信木において，端末1に送るのは，端末0，3および5の情報のみである．また，図3の端末離脱時の配信木再計算において，再計算後の配信木情報を送るのは親端末／子端末に変化のあった端末0，4，6，10，14のみである．

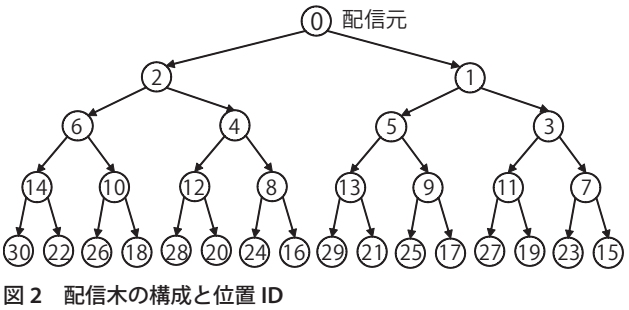

図2　配信木の構成と位置ID

4.2.2　死活管理機能

死活管理機能は，配信端末が中継端末と受信端末の離脱や参加を検知する機能である．本システムの死活管理は，配信端末が中継端末および受信端末と定期的にメッセージを交換し，一定時間（検知時間）経っても相手端末からメッセージが来ない場合にその端末を離脱したとみなす．検知時間は3秒としている．受信端末が離脱した場合に配信端末がその離脱を検知する様子を**図4**に示す．なお，これらメッセージの送受信に転送速度が速いUDP（User Datagram Protocol）を用いている．

4.3　パケット複製転送機能

パケット複製転送機能の概要を**図5**に示す．パケット複製転送機能は，各端末が分配された配信木情報をもとに，自身が受信するストリームを自身の子端末の数だけ複製し，それら子端末に送信することで実現される．本複製転送機能は端末のOSのカーネルに組み込み[21]転送時間の短縮を図っている．

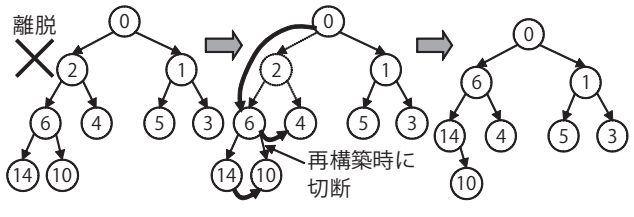

図3　配信中端末離脱時の配信木計算

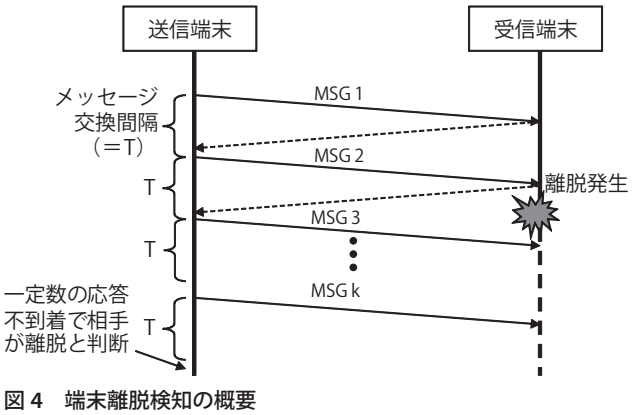

図4　端末離脱検知の概要

4.4 QoS 制御

利用可能帯域が変動するネットワークで映像，音声の乱れを抑えるため，帯域に応じて送信ストリームのレートを変動させる適応レート制御機能と，再送，FECを利用したパケットロスリカバリー機能によりQoS制御を行う．

4.4.1 フィードバック集約型適応レート制御

4.4.1.1 帯域推定処理

配信・中継端末と受信端末の間で利用可能帯域推定を行う．利用可能帯域推定においては，RTTとパケットロスの変動検知による帯域推定方式とともに，TCPコネクションとの公平性を考慮した輻輳制御プロトコルであるTFRC（TCP Friendly Rate Control）を併用することにより，ネットワーク帯域変動に迅速に適応する高精度な帯域推定を行う[22].

4.4.1.2 帯域推定処理の分散処理

帯域推定処理の概要を**図6**に示す．配信では，全中継リンクの帯域推定結果から最も低い値を採用することで，配信端末に最適なレートでエンコードさせる必要がある．そのため，配信端末と各中継端末において，子端末との間のリンクについて利用可能帯域の推定処理を実施する．

各中継端末は，子端末から通知された帯域推定結果と自身の帯域推定結果における最低値を親端末に通知する．このように，配信端末に通知すべき帯域推定結果が各中継端末で集約されるため，フィードバックパケットによる回線帯域消費と配信端末での計算資源の消費を抑えられる．

4.4.2 パケットロス回復

4.4.2.1 再送制御（親再送方式）

ALMにおける再送には，損失パケットの再送を(a)送信元に依頼する送信元再送，(b)配信木上の親端末に依頼する親再送，(c)配信木上の第3の端末に依頼する横再送がある[23]．本システムでは，ネットワーク帯域の消費を抑えつつ高いパケットロス回復率を確保するために，親再送を採用した．これは，送信元再送では，全受信端末へ再送パケットを送るため配信端末側のネットワーク消費量が多くなり，一方，横再送では，確実に該当するパケットを保持している端末を選定するのが困難なためパケットロス回復率が低下するからである．

なお，本システムの親再送は，**図7**に示すように，ロスが発生した場合に再送を依頼した端末だけではなく下流全体に再送パケットを送信することで，下流におけるロス回復の遅れを解消する．

4.4.2.2 前方誤り訂正（FEC）

音声途切れはユーザの主観への影響が大きいことから，音声ストリームに対しては再送だけでなくFECを適応しパケットロス耐性を高める．FECの冗長度は，日本国内外におけるフィールドテストで観測したPLRの計測結果から100%と決定した．一方，映像ストリームに対しては割り当てるビットレートを確保し高品質な映像を伝送するため，FECを適用しない．

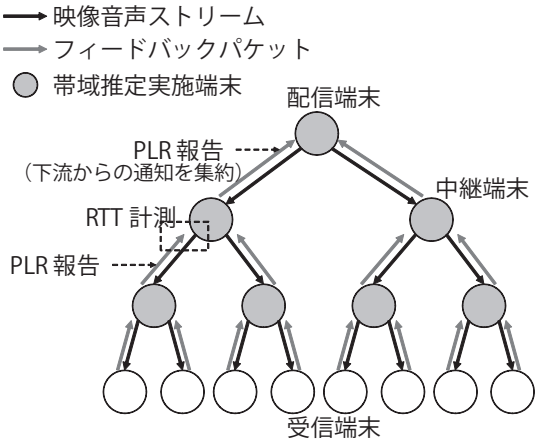

図 6　利用可能帯域推定の分散集約処理

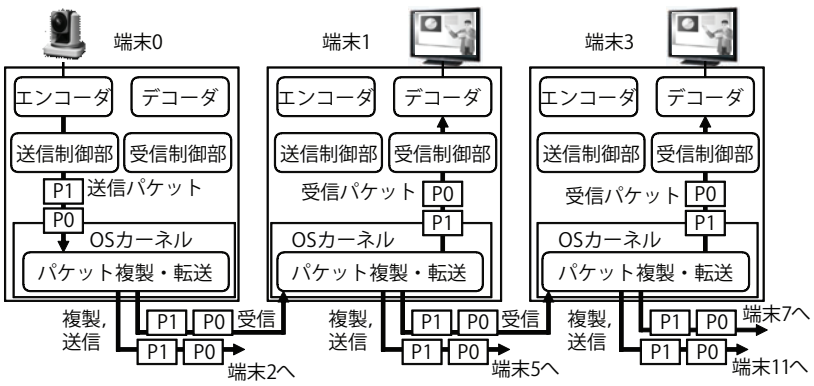

図 5　パケット複製・転送の概要

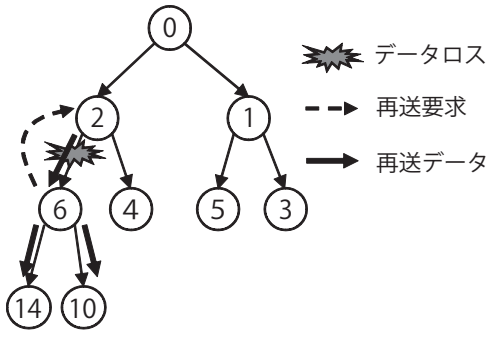

図 7　再送データの流れ

4.5　組込み機器への実装

システムが安定して動くためには，CPU負荷が高くなりすぎないようにしなければならない．そこで，4.4.1項で説明したフィードバック集約型適応レート制御方式を採用した．また，低遅延転送の実現と端末内での不必要なパケット複製を削減するため4.3節で述べたようにパケット複製転送機能をカーネルに組み込んだ．これらの方式と各ソフトウェアモジュールのCPUの割り当ての最適化などにより，端末の安定動作を実現した．

5. システムの評価

ここではシステムの性能評価の結果，および実フィールドでの検証の結果を示す．性能評価は，端末間のRTTやPLRを変更可能なネットワークエミュレーション環境[1]を用いて実施した．

5.1　性能評価

5.1.1　端末離脱時の下流端末回復時間

配信中に端末離脱が発生したときの下流端末での映像・音声回復は，離脱の検知，それに伴う新しい配信木の構築・分配によって行われる．離脱検知に関しては，RTT上昇により検知までの時間が伸びることと，RTT上昇およびPLRの上昇により配信木の分配にかかる時間が伸びることが想定される．そこで，RTTが30ms，100msの2パターン，PLRが0.3%，1%，3％，10%の4パターンの組合せで，端末離脱時の子端末の復帰時間（パケットが途切れてから別の親端末からの転送パケットを受信するまでの時間）の計測を実施した．その結果，想定したRTT，PLRの環境では影響が十分に小さく，RTT，PLRの上昇に伴う復帰時間の悪化は観測されず，いずれの場合も3.5秒以内という短時間で映像・音声が回復できることが確認された．

また，離脱検知において，RTT，PLRの上昇により離脱を誤検知する可能性が高くなるが，上記の想定環境の試験では誤検知は発生しなかった．さらに確認のため想定環境以上に悪い条件であるRTTが500ms，PLRが10%のエミュレート環境においても試験を実施したが，誤検知は発生しなかった．

表 2　適応レート制御性能評価の条件

項目	値
受信端末数	30 台
配信ストリーム	5Mbps（フル HD）
端末間 RTT	100ms

5.1.2　フィードバック集約型適応レート制御の性能評価

利用可能回線帯域の変動に対するフィードバック集約型適応レート制御の性能評価を**表2**の条件で実施した．

帯域制限の評価試験は，配信端末から最も離れた受信端末の回線帯域を100Mbpsから1Mbpsへ制限し，その後1Mbpsから100Mbpsへと開放することにより行う．配信端末から最も離れた回線に対して帯域制限／開放を実施したのは，エンコーダを制御する配信端末への制御に時間を要する最も厳しい条件であるためである．

回線帯域を100Mbpsから1Mbpsに制限したとき，制限直後は回線帯域超過によるパケットロスにより映像音声の乱れが発生するが，40秒後には回線帯域に送信レートが調整されることにより回線帯域超過によるパケットロスが解消された．急峻な帯域変動にも短時間で乱れのないストリームを送信するよう適応できている．その後，回線帯域を1Mbpsから100Mbpsに開放すると，開放直後はそれまで制限されていた1Mbpsに適応して送信レートを抑制するが，混雑緩和を検知することにより送信レートが最大配信レートの5Mbpsに再調整されることを確認した．回線の利用可能帯域が戻れば，短い時間で自動的に送信レートを戻し，ストリームの品質を改善できることが確認できた．結果のグラフを**図8**に示す．

5.1.3　パケットロス回復性能の検証

インターネットの混雑等によるパケットロスは再送により回復されるが，その性能はロスしたパケットをその再生時刻までに回復できたかどうかにより評価され

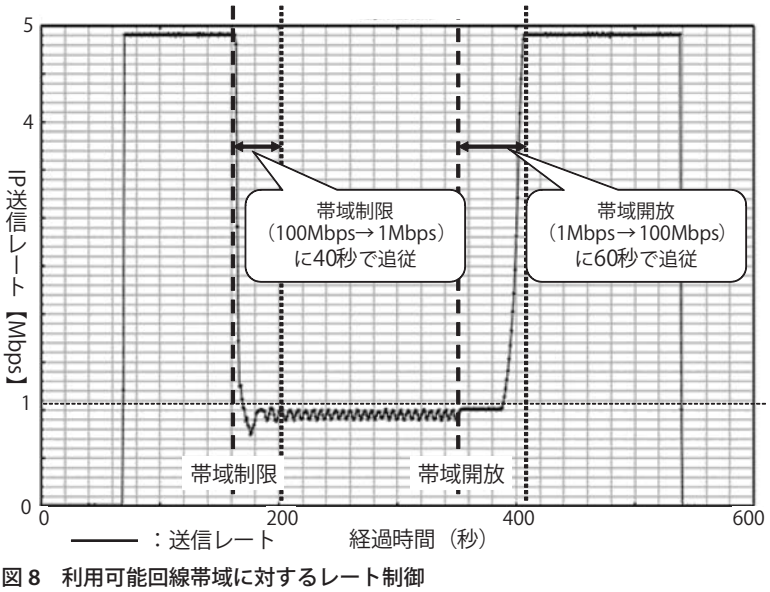

図 8　利用可能回線帯域に対するレート制御

る．したがって，パケットロス回復性能はPLR，送受信端末間のRTTに依存する．すなわち，PLRの上昇，またはRTTの上昇により性能は低下する．そこで，実環境を想定した**表3**に示すPLR，RTTの条件でパケットロス回復性能の検証を行った．映像・音声データの再生までの遅延時間は1秒とした．本検証では5秒間計測し，すべての検証条件において，最終のデータロスが0になるという十分なパケットロス回復性能が得られることを確認した．

5.2 フィールド評価

インターネット上でALM配信システムの動作検証を行うため，日本国内30地点と海外10地点への配信実験を行った．**図9**と**図10**にそれぞれの実験で設定した配信木を示す．アクセス回線には日本国内いずれの配信地点も商用の光インターネットサービスを，また海外の配信地点は主にインターネット専用線サービスを使用した．

日本国内30地点への配信実験では映像・音声の受信品質やPLR，中継端末の離脱が発生した際に下流端末で中断したストリーム再生が復旧するまでの時間を確認した．この実験では最大配信レート5Mbps設定で行い，フィードバック集約型適応レート制御により映像・音声合わせて3.8Mbps ～ 1.5Mbpsの受信スループットが得られた．配信端末から各受信端末までのPLRは図9のID:5（東京5）から下流の地点で最大3.6%（5秒平均）を観測したが，その他の地点は1%未満で推移した．これはID:1（東京1）からID:5（東京5）に向かう経路がボトルネックリンクになった結果である．また，映像・音声品質についても最大配信レートによる配信開始直後以外は映像の乱れや音途切れが発生せず，最大でフルHD品質で配信ができることを確認した．中継端末の離脱による下流端末で発生するストリーム再生中断についても，最大7秒，平均4秒で復旧した．

次に海外10地点への配信実験では，ネットワークのRTTやジッタ，PLRが大きい環境でのスループット，中継端末の離脱が発生した際の下流端末で中断したストリーム再生が復旧するまでの時間を確認した．この実験では最大配信レート3Mbpsの設定で行い，映像・音声合わせて1.7Mbps ～ 600kbpsの受信スループットが得られた．

このとき，図10の韓国から中国（上海）に向かう経路がボトルネックリンクになっており，中国（上海）を離脱させると1.5Mbps ～ 1.2Mbpsに改善した．また，中国（上海）の離脱によって中国（香港）で発生するストリーム再生中断についても3秒で復帰して，日本国内の結果と遜色ない結果が得られた．

5.3 大規模配信システムの運用評価

本システムの応用として，広帯域の回線を施設し，入力を分配した複数の配信端末を設置したデータセンタから多拠点へ配信する大規模配信システムを構築した．大

表3 パケットロス回復検証の条件

PLR(%)	RTT(ms)	想定実環境
0.3%	30ms	日本国内
3%	100ms	日本ー東アジア
3%	300ms	日本ー欧州

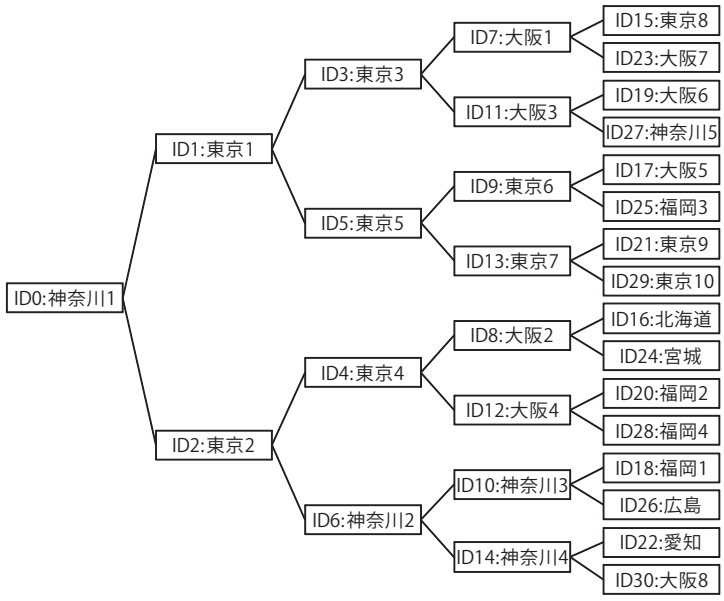

図9 国内30地点配信木

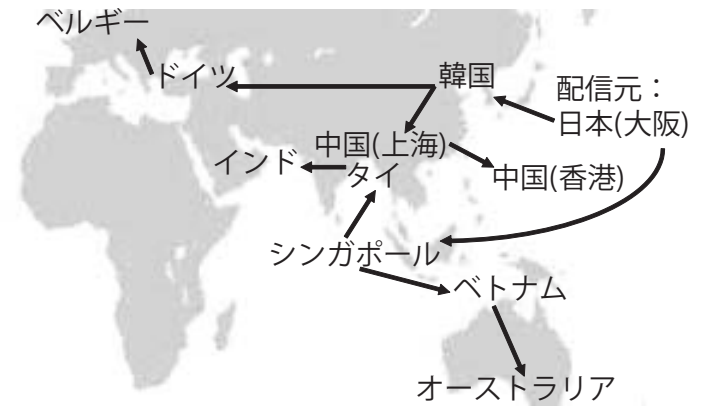

図10 海外10地点配信木

規模配信システムの構成を**図11**に示す．

5.2節におけるフィールド評価の結果，物理的な距離が大きいリンクほどPLRやRTTは大きくなる傾向が見られたため，大規模配信システムでは，配信木は近隣の配信先拠点ごとにまとめ，1つの配信端末からは最大で14拠点へ配信した．各配信先拠点のアクセス回線には商用の光インターネットサービスを利用した．20台の配信端末から最大で272拠点への配信を行い，全拠点へ乱れのない映像音声を送信することに成功した．その際，関東地方の拠点をまとめたいくつかの配信木では送信レートの低下を計測した．

一例として，ある配信木のレートとRTTの変動の様子を**図12**に示す．グラフ中の点線で囲まれた時間帯において，拠点2，4，5および6のRTTが増加し，送信レートが低下した．RTTの増加から回線の混雑をシステムが推定し，適応レート制御の機能により送信レートを下げ，パケットロスによる映像や音声の乱れを抑えることができていたと推察できる．この時，拠点1から5へのリンクおよび配信拠点から2へのリンクがボトルネックとして採用されていた．また，各拠点におけるRTTの変動は同じタイミングで増加，減少する傾向が見えた．

これらの評価により，本システムが回線の混雑状況に適応して送信レートを調整し，乱れのないライブストリーミングをインターネット上で実現できることを実証した．また，本システムの運用から，東京を中心とした首都圏にある拠点に対し，外部からのリンクで送信する場合は，システムが回線の混雑を推定し送信レートが下がる傾向が強いことが知見として得られた．

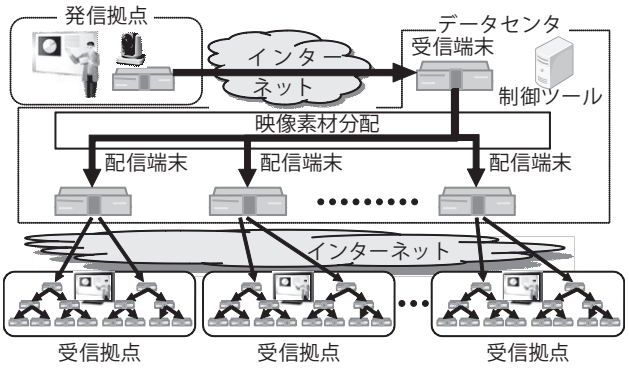

図11　大規模配信システムの構成

6. むすび

本論文では，ビデオ会議端末を利用したALMによる多地点ストリーム配信システムについて述べた．

本システムでは，インターネットを介した配信を想定した死活管理，再送制御および端末負荷を軽減したフィードバック集約型適応レート制御方式で，ストリームの乱れを抑えたフルHDの高品質な映像音声配信をビデオ会議端末上で実現した．また，ネットワークエミュレーション環境，フィールドでの性能検証および他システムとの比較を通じて本システムの有効性を確認した．

今後の取り組みとしては，スケーラビリティの確保に向けた提案方式の改善，新規アプリケーションの実現に向けた検討を進める予定である．

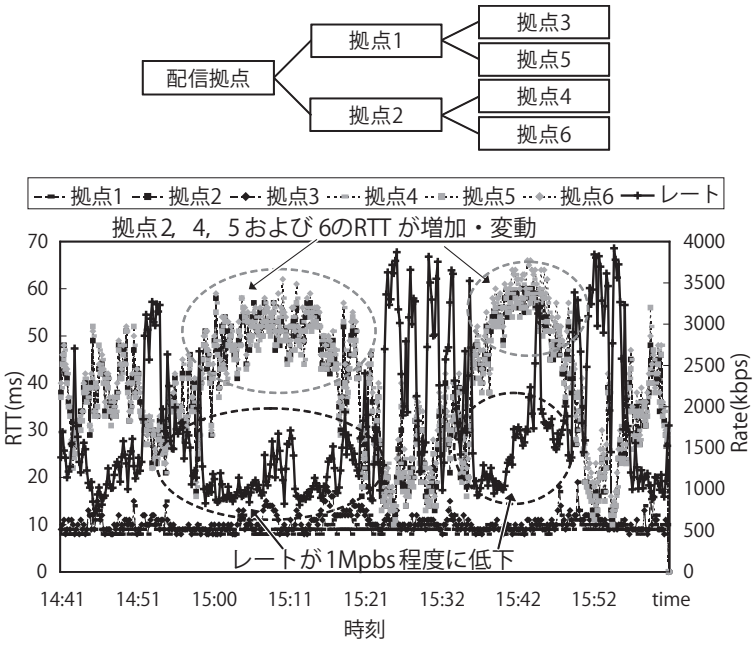

図12　大規模配信のRTTとレート変動の一例

謝辞　検証手法にアドバイスをいただいた北陸先端科学技術大学院大学篠田研究室各位に感謝いたします．

参考文献

1) Baduge, T. et al.: Functional and Performance Verification of Overlay Multicast Applications - A Product Level Approach, Proc. IEEE CCNC 2010, pp.1-5 (2010).
2) Willebeek-LeMair, M. H. et al.: On Multipoint Control Units for Videoconferencing, Proc. IEEE LCN 1994, pp.356-364 (1994).
3) FENICS IP ビデオ配信サービス，http://fenics.fujitsu.com/networkservice/ip-delivery/（2012年7月2日現在）
4) ネットTV向け映像配信サーバシステム「Videonet.tv」シリーズ，http://www.hitachi.co.jp/products/it/network/videonet/（2012年7月2日現在）
5) 松村浩一，大隅慶明：市販テレビ端末によるビデオオンデマンドを実現するネットTV端末仕様書3.0版ストリーミング仕様，映像情報メディア学会誌，Vol.62, No.5, pp.675-677 (2008).
6) 衛星マルチキャスト配信サービス，http://www.

sptvjsat.com/satellite/skyaccess/skyaccess_system.html（2012 年 7 月 2 日現在）
7) Deering, S. E. and Cheriton, D. R.: Multicast Routing in Datagram Internetworks and Extended LANs, ACM Transactions on Computer System, Vol.8, No.2, pp.85-110 (1990).
8) 小池　淳，宮地悟史 : IP マルチキャスト技術とその動向，電子情報通信学会，通信方式研究会第 19 回情報伝送と信号処理ワークショップ (2006), http://www.ieice.org/cs/cs/jpn/csws/paper19/t2_Koike.pdf（2012 年 7 月 2 日現在）
9) Pendarakis, D. et al.: ALMI: An Application Level Multicast Infrastructure, Proc. USENIX Symposium on Internet Technologies and Systems, (2001).
10) Francis, P.: Yoid: Extending the Multicast Internet Architecture (2000), http://www.aciri.org/yoid（2012 年 7 月 2 日現在）
11) Chu, Y. -H. et al.: A Case for End System Multicast, IEEE JSAC, Vol.20, No.8, pp.1456-1471 (2002).
12) Castro, M. et al.: SCRIBE: A Large-scale and Decentralized Application-Level Multicast Infrastructure, IEEE JSAC, Vol.20, No.8, pp.100-110 (2002).
13) Zhang, X. et al.: CoolStreaming/DONet: A Data-driven Overlay Network for Peer-to-peer Live Media Streaming, Proc. IEEE INFOCOM 2005, Vol.3, pp.2102-2111 (2005).
14) Pai, V. et al.: Chainsaw: Eliminating Trees from Overlay Multicast, Proc. IPTPS, 2005, pp.127-140 (2005).
15) BB ブロードキャスト, http://www.tv-bank.com/jp/enterprise/bbbroadcast/index.html（2012 年 7 月 2 日現在）
16) 総務省 ネットワークの中立性に関する懇談会 P2P ネットワークの在り方に関する作業部会 : P2P ネットワーキングの現状（案），総務省 (2007), http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/policyreports/chousa/network_churitsu/pdf/wg2_070424_si7_1.pdf（2012 年 7 月 2 日現在）
17) UG Live, http://www.utagoe.com/jp/technology/live/index.html（2012 年 7 月 2 日現在）
18) 池長慶彦，首藤一幸，村岡洋一 : 実ネットワークに適応するオーバレイマルチキャスト放送基盤，情報処理学会研究報告，2007-DSM-44, Vol.2007, No.24, pp.13-18 (2007).
19) 村本衛一，米田孝弘，小西一暢，蓑田佑紀，知念賢一 : エンコーダ，デコーダ制御によるインターネット経由の映像音声ストリームの高信頼，低遅延伝送制御の実現，インターネットコンファレンス 2010 (2010).
20) 柏木吉一郎，西　孝啓 : HD 向け MPEG-4 AVC 画像圧縮技術，Panasonic Technical Journal, Vol.54, No.3, pp.9-14 (2008).
21) Ping, L. B. et al.: Bandwidth Fair Application Layer Multicast for Multi-party Video Conference Application, Proc. IEEE CCNC 2009 (2009).
22) Handley, M. et al.: TCP Friendly Rate Control (TFRC) Protocol Specification, RFC3448 (2003).
23) Xing, J. et al.: Loss Recovery in Application-layer Multicast, IEEE Multimedia, Vol.15, No.1, pp.18-27 (2008).

吉田 達哉（非会員）yoshida.tatsuya@jp.panasonic.com
2002 年東大大学院工学系研究科電子情報工学専攻修士課程修了．同年松下電器産業（株）（現在のパナソニック（株））入社．現在，ネットワーク分野の研究・開発に従事．

バデゥゲ ティルミー（非会員）baduge.thilmee@jp.panasonic.com
2008 年大阪大学大学院情報科学研究科博士後期課程修了．同年パナソニック（株）本社 R&D 部門に入社．マルチキャスト通信などの研究に従事．

米田 孝弘（非会員）yoneda.takahiro@jp.panasonic.com
2002 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科情報システム学専攻修了．同年，松下電器産業（株）入社．現在，ネットワーク分野の研究・開発に従事．

後藤 博喜（非会員）gotoh.hiroki@jp.panasonic.com
1997 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科修了．同年松下電器産業（株）入社．現在，ネットワーク分野の研究・開発に従事．

村本 衛一（非会員）muramoto.eiichi@jp.panasonic.com
1991 年松下電器産業（株）入社．2000 年北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科修了（企業派遣）．現在，ネットワーク分野の研究・開発に従事．

金子 仁（非会員）kaneko.jin@jp.panasonic.com
2006 年九州工業大学大学院情報システム専攻修士課程修了．同年松下電器産業（株）入社．

森田 直樹（非会員）morita.n@jp.panasonic.com
2002 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科修了．2004 年パナソニックコミュニケーションズ（株）（現在のパナソニックシステムネットワークス（株））入社 . 現在，ネットワーク分野の研究・開発に従事．

投稿受付：2012 年 9 月 7 日
採録決定：2013 年 3 月 1 日
編集担当：折原良平（(株）東芝）