

結合性と安定性に基づくアプリケーションレイヤマルチキャスト 配送ツリーの実装と評価

中 沢 実[†] 江 上 武 史^{††}
江 守 拓 実^{†††} 服 部 進 実[†]

本論文では、参加者が動的に変化しやすいアプリケーションレイヤマルチキャストにおいて、安定性の高い配送ツリー構築方式を提案する。参加者が動的に変化する場合、配送ツリーの安定性に加え、端末の離脱に対してその影響を局所化しつつ短時間で回復することが望まれる。提案方式では、端末間の結合性と端末自身の安定性を利用し、かつ、グループ化機能を追加することで、端末の離脱に対して影響の及ぶ端末数を抑え、再構築時間を短縮することが可能となる安定性の高いマルチキャスト配送ツリーの生成アルゴリズムを提案している。さらに、実ネットワークの端末上を実装した映像配信アプリケーションの構築方式とそれを用いた評価結果について述べる。

An Implementation and Its Evaluation of Application Layer Multicast Distribution Tree Based on Associativity and Stability

MINORU NAKAZAWA,[†] TAKESHI EGAMI,^{††} TAKUMI EMORI^{†††}
and SHIMMI HATTORI[†]

This paper proposes a construction method of highly stable distribution tree on an application layer multicast protocol where user's participation often changes dynamically. In such situation, not only high-stability of distribution tree, but also quick reconstruction of it are required, minimizing the influence by escape of user's terminal. This method utilizes associativity, stability and grouping methods of the nodes. The proposed method can reduce the number of influenced nodes, and quickly reconstruct a highly stable distribution tree. The below describes a construction method and its evaluation of a streaming distribution application mounted on the node of a real network.

1. はじめに

ブロードバンドネットワークの家庭への普及や、ハードウェアの高性能化、低価格化によって、これまでの文字や静止画を用いたサービスから映像や音声を用いたサービスへと移行している。これらはより高品質なサービスを提供するが、同時にサービス提供者側のネットワークやハードウェアに大きな負担をもたらす。また、現在のようなユニキャスト通信中心の配信形態では、同時処理可能配信数やサービス品質（以下QoS）の高いレベルでの保証を考慮すると限界に近づ

きつつある。

このような問題に対し、解決策の1つとしてマルチキャスト通信による負荷分散が考えられている。具体的な方式としてIPマルチキャストやアプリケーションレイヤマルチキャストがあり、非常に有用であるがそれぞれに実現に向けて課題が残っている。IPマルチキャストはネットワーク資源の利用効率やQoSの点から見ると有用である。しかし、インフラストラクチャの普及度やマルチキャストグループ管理の困難さなどが課題として残っているため、広域通信での利用は実現していない。

一方、アプリケーションレイヤマルチキャストは、アプリケーションレイヤ上に構築したオーバーレイネットワークを利用してユニキャストの連携によってマルチキャストを実現するため、既存ネットワークのマルチキャスト対応が不要であり、実現が容易である^{1)~5)}。しかし、端末がマルチキャストグループメンバの管理、パケットの複製、転送といった機能を有するにもかか

[†] 金沢工業大学工学研究科知的創造システム専攻
Graduate Program in Systems for Intellectual Creation,
Kanazawa Institute of Technology

^{††} 金沢工業大学工学研究科情報工学専攻
Graduate Program in Information Engineering, Kanazawa
Institute of Technology

^{†††} 株式会社アルファシステムズ
Alpha Systems Inc.

ならず、端末周辺での帯域制限や端末の参加、離脱が頻繁に発生するため、配送ツリーの構築が難しいいうえに安定しない。そのため、QoSの保証が難しく、こちら実サービスとして実現することは難しい。結果として、将来的に広域での映像配信がより一般化していくことが見込まれているにもかかわらず、その配信基盤が確立していないという問題があげられている。

マルチキャスト配送ツリーに関する従来の研究では、遅延最小木の構築や、端末離脱時のツリー再構築時間の短縮を目的としたものが多い^{(6)~(8)}。

これらの手法では、端末の離脱による再構築処理を簡潔なものとする事で、短時間で回復可能とする手法がとられている。しかし、端末がマルチキャスト配送ツリーの中継を担っているときに離脱した場合、その下流にある端末も配送ツリーから外れることによって配送ツリートポロジが崩れる範囲をできる限り小さくするといった端末離脱による配送ツリートポロジへの影響が考慮されていない。

本論文では、配送ツリートポロジへの影響を局所化することにより、マルチキャスト配送ツリーを安定させることが目的となる。また、関連する項目であるが、再構築発生頻度は、マルチキャスト配送ツリーの中継ノードとして上流ノードの離脱する可能性がなるべく小さい配信木を構成することにより、抑制することができる。さらに、再構築時においても、安定性の高い端末を上流の端末にすることで、マルチキャスト配送ツリーを安定させることが可能となる。

関連した研究としてマルチホップでの通信において、通信の切断を減少させることを目的としたルーティングプロトコルとして、モバイルアドホックネットワークにおける Associativity-based Routing (ABR)⁽⁹⁾、Signal Stability-based Adaptive routing (SSA)⁽¹⁰⁾ などがある。これらは、端末間の接続品質を評価し、通信の切断が発生しにくい配送経路を選択することで、安定したデータ通信を実現しようとするプロトコルである。しかしながら、広域通信での利用を考えた場合、再構築時に大きなオーバーヘッドを生じてしまう。

本論文では、端末間の結合性と端末自身の安定性を考慮し、複数の端末をまとめた小グループを形成することで、再構築が発生した場合でもその影響範囲を可能な限りグループ内に抑制し、かつグループを代表する端末(グループリーダ)にその中で安定性の高いものを利用することにより、グループ間の再構築の発生頻度を縮小させる方式を提案する。

2. 関連研究

2.1 ABR

ABR⁽⁹⁾は、データ送信端末から受信端末までの経路決定に端末間の結合性を利用するモバイルアドホックネットワーク対応のルーティングプロトコルである。ここでいう結合性とは、モバイル端末における空間的安定性、時間的安定性、接続安定性を考慮した値であり、ある端末とその隣接端末との間の接続関係の指標として用いられる。例として以下にその動作を説明する。

図1のネットワークで送信端末をS、受信端末をRとした場合のABRでの経路選択を示す。リンクに付加された数字が結合性を表すものとする。

表1は受信端末が持つ経路テーブルを示し、テーブルは左から接続経路、評価値、ホップ数を表す。ここでは各端末が経路となってストリーミングデータであるコンテンツをアプリケーションレイヤで中継する負荷については考慮しないことにしている。また、結合性の許容範囲は2以上とする。

まず、各経路に対して評価値を求める。評価値は、以下の式(1)のように表される。

$$\text{評価値} = \frac{\text{結合性が許容範囲内の接続数}}{\text{経路内の接続数}} \quad (1)$$

評価値はその経路の安定性を表し、大きな値をとる経路がより安定することになる。評価値が最大の経路

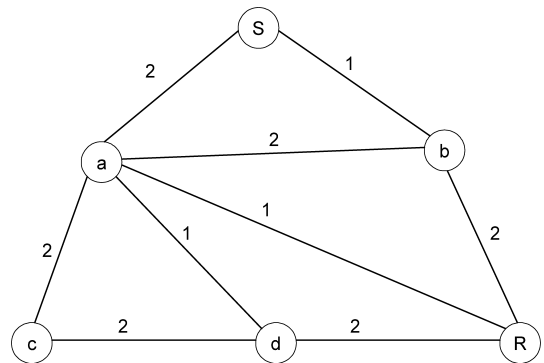


図1 ABRにおける経路選択
Fig.1 Routing selection on ABR.

表1 経路選択結果
Table 1 Result of routing selection.

	接続経路	評価値	ホップ数	選択経路
Route-1	S-b-R	0.50	2	
Route-2	S-a-R	0.50	2	
Route-3	S-a-d-R	0.67	3	
Route-4	S-a-b-R	1.00	3	
Route-5	S-a-c-d-R	1.00	4	

以外を放棄し、残った候補内でホップ数が最小となる経路が選択経路となる。評価値、ホップ数ともに等しい経路が複数存在した場合は、その中から任意に選択する。図1のネットワークでは経路4(S-a-b-R)が選択される。

2.2 問題点

ABRは、経路に含まれるすべての端末間の結合性を把握し、その値に基づいて経路を決定するというルーティングプロトコルである。広域通信では必要な情報量も多くなり、端末の離脱による影響も広範囲となるため、演算や情報収集が長時間必要となる。結果として端末の離脱に対して高速に安定した経路を提供することが難しい。

3. 提案方式

本章ではオーバーレイネットワーク上におけるマルチキャスト配送ツリー構築アルゴリズムの提案を行う。提案アルゴリズムでは、端末の離脱によるマルチキャスト配送ツリーの再構築の発生を減らすことと、再構築処理を高速に行えるようにすることが目標となる。

提案アルゴリズムは以下のような特徴を持つ。

- (1) 集中サーバを仮定することなく配送ツリーの構築を行う。そのため各端末の連携で情報の収集を行い、マルチキャスト配送ツリー構築を行う。
- (2) 端末をある程度の数でグループ化し、端末の離脱による影響をグループ内に局所化する。
- (3) 端末間のリンクの接続状態や接続時間を考慮し、そのパラメータを基準に接続対象を決定する。

マルチキャスト配送ツリーは、グループリーダどうしを接続した基幹マルチキャストツリーの配下にグループメンバをツリー状に配置する形になる(図2参照)。グループはグループリーダの条件を満たした端末の接続によって追加される。

提案アルゴリズムでは、接続品質を利用した経路決定に加え、端末を少数のグループにまとめることで端末の離脱に対する影響をグループ内だけに局所化する。結果として、取得情報量の削減や安定的なマルチキャスト配送ツリーの高速な再構築を可能とする。

しかしこの場合、グループ間のゲートウェイとなる端末の離脱はその影響がグループ内にとどまらず広範囲となってしまふ。そこで本論文では、前述した結合性として表現している端末の接続品質だけでなく端末そのものの離脱率を安定度として評価し、両パラメー

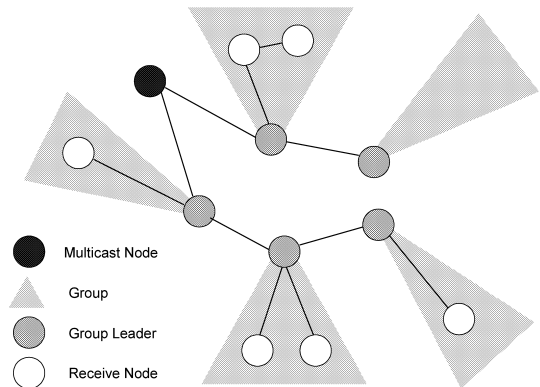


図2 マルチキャスト配送ツリーの例
Fig.2 Example of multicast distribution tree.

タを利用することで離脱可能性の低い端末をグループリーダとし、かつゲートウェイとする。

これにより、接続品質だけでなく端末のマルチキャストネットワーク上の存在可能性を評価することで、通信不可能な状態を可能な限り回避することはもちろん、グループリーダの離脱可能性を低く抑えることで広範囲に影響を及ぼすことを防ぐことが可能となる。

3.1 結合度と安定度

本論文では、送受信端末間リンクの評価と端末そのものの評価を行うが、ABRで用いられている結合性をそのまま用いることはできない。ABRの場合は結合性はモバイルアドホックネットワークでの利用を前提としているため、無線強度や移動方向、移動速度といったモバイル環境でのパラメータを重視しているためである。

そこで送受信端末間リンクの評価と端末自身の評価をそれぞれ結合度、安定度と表し、以下のように定義した。

3.1.1 端末間リンクの評価(結合度)

送受信端末間リンクの通信品質を評価する値を結合度とする。手法としてアプリケーションレイアネットワーク上のping機能を用いて、端末間リンクの距離などの評価値を計測するものである。結合度は、マルチキャスト配送ツリー作成時の接続先を決定するために、以下のパラメータを用いて5段階評価を行う。

RTT

経由端末を含むアプリケーションレイアネットワーク上での往復伝播遅延時間

経路端末数

マルチキャスト通信を行う経路における、配信元端末から対象とする端末までに経由する端末数
リンク接続状態

端末が何らかの理由でマルチキャストネットワーク上から離れる確率

経由端末の電源断の状態をゼロとし、ping コマンド送信回数・送信周期との関係から送受信端末間のリンクの応答性を評価する。

回線タイプ

回線速度・ネットワーク接続形態（ダイヤルアップ回線や ADSL, FTTH, CATV など）

3.1.2 端末の評価（安定度）

端末がマルチキャストネットワーク上に継続的に接続している確率を安定度とする。手法として、マルチキャスト通信の開始から終了するまでの通信時間と接続回数を測定することで、決定する項目である。安定度は、マルチキャスト配送ツリー作成時の中継ノード（グループリーダ）の端末を決定する要因である。この値は、以下のパラメータを用いて算出する。

最大接続時間

マルチキャストネットワークに接続し、通信を行った最大時間（実績値）

平均接続時間

マルチキャストネットワークに接続し、通信を行った平均時間（実績値）

接続期待時間

マルチキャストネットワークに接続し、通信を行う時間の期待値

接続回数

一定時間内における接続回数（実績値）

3.2 節において提案アルゴリズムを述べるが、マルチキャストセッションを以下の 3 つの段階に分割し、それぞれの動作の際に安定度の評価を行う。

- セッション開始前
- セッション中の端末参加方法
- セッション中の端末離脱にともなう再構築方法

3.2 提案アルゴリズム

マルチキャスト配送ツリーを構築する方法として、以下の 2 つの方法が考えられる。

- 参加要求をした端末から順に配送ツリーを構築。
- ある一定数まで要求を受け付けて、集中的な評価を行ったうえで配送ツリーを構築。

これら 2 つの方法を比較した場合、初期構築配送ツリー全体における結合度と安定度は、後者の方法で構築する方が良い結果が得られると考えられる。これは集中的な手法を用い、1 つのアルゴリズムを利用して、全体的なマルチキャストツリーの全容を把握させたいうでの配置が可能となるためである。

しかし、本研究では各端末が自律的に配送ツリーを構築し、集中的な処理を避けることを目標としているため、前者の方法を前提とする。

提案した配送ツリー構築アルゴリズムでは、マルチキャストツリー全体を把握して構築するのではなく、P2P ネットワーク上において接続要求端末が把握可能な一部の端末情報を利用して最適接続先を決定し、その端末どうしをユニキャスト接続することでマルチキャストにおけるパスを徐々に増加させる方法をとる。ユニキャスト通信との連携によってマルチキャストツリーを構成することで、専用サーバを必要とせず、端末間の連携によってマルチキャスト配送ツリーを構築しやすくしている。

以下では端末参加時のアルゴリズムについて述べることで、配送ツリー構築方法を示す。まずマルチキャストセッションをセッション開始前とセッション中の 2 つの場面に分割し、それぞれの場面において新規端末参加時における参加アルゴリズムを示す。

3.2.1 セッション開始前

マルチキャストセッション開始前では、送信元端末が配信コンテンツを各端末に広告する。この広告を受け取ったマルチキャストセッションに参加したい端末は、広告情報に従って送信元端末に接続要求を行う。

このとき、参加要求端末と送信元端末の間の結合度と参加要求端末の安定度が閾値を超えた場合、新グループを生成し参加要求端末を新グループのリーダとする。それ以外の場合には送信元端末をリーダとするグループに参加する。

3.2.2 セッション中の端末参加方法

マルチキャストセッション開始後の端末参加は以下の手順で行う。

- 接続対象グループの決定
- 接続対象端末の決定

接続対象グループの決定

参加要求端末は、各グループリーダとの結合度を基準として参加対象グループを決定し、参加要求を出す（図 3 の 1. 参照）。この各グループリーダの認識については、本論文では JXTA を用いた実装を行っているため、端末から把握できる範囲（アプリケーションレイヤでの到達範囲内のホップ数）におけるアドバタイズ情報よりグループリーダに関する情報を取得している。すなわち、特別にグループ管理を行っている端末は存在せず、P2P ネットワークを用いて各グループに属する端末のアドバタイズ情報からグループリーダを認識する。

参加要求を受け取ったグループリーダは、グループに参加可能な場合はその要求を受け入れる（図 3 の 2. 参照）。この操作を参加要求が受け入れられるまで行う。

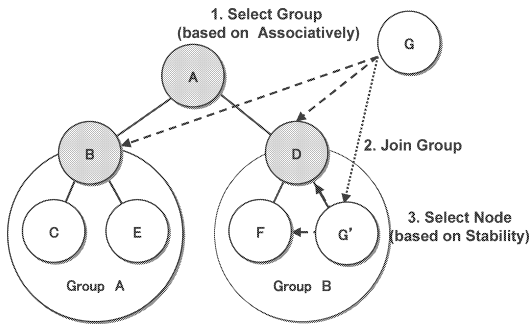


図3 端末参加手順
Fig. 3 Procedure of terminal join.

新規参加端末の安定度が閾値を超えている場合、3.2.1 項の場合のように新規グループを生成可能であるかどうかを検証し、可能であれば新規グループを生成する。

接続対象端末の決定

参加グループが決定した端末は、グループ内の端末に対して安定度を基準として接続対象を決定し、接続要求を出す(図3の3.参照)。接続要求を受け取った端末は、自身が接続可能な場合はその要求を受け入れる。この操作を接続要求が受け入れられるまで行う

3.2.3 セッション中の端末離脱による再構築方法

マルチキャスト配送ツリーに参加している端末の中で、他端末にデータを配信している端末が離脱した場合、その下流の端末がデータ受信不可能となるため、配送ツリーの再構築が必要となる。

本論文では、端末をグループリーダーとそれ以外の端末とに分けているため、それぞれが離脱した場合についてアルゴリズムを示す。

グループリーダー離脱の場合

グループリーダーが離脱した場合、マルチキャスト配送ツリーは以下の3種類のグループに分断される。

- リーダが離脱したグループ
- 離脱したリーダーから受信していたグループ (ex. 図3のB, Dが離脱)
- 離脱したリーダーに送信していたグループ (ex. 図3のAが離脱)

最後の「離脱したリーダーに送信していたグループ」については処理を必要としないが、それ以外は配送ツリーの再構築が必要となる。以下では、それぞれについての修復処理を示す。また、便宜上離脱した端末にデータを供給していた端末を親端末、離脱した端末からデータを受信していた端末を子端末と表記する。

(1) リーダが離脱したグループ

各端末は、JXTA を用いてアドバタイズ情報を定期

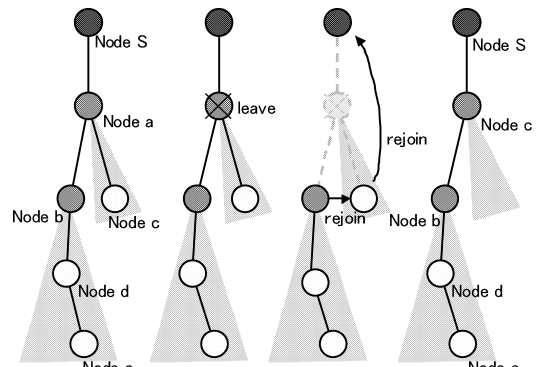


図4 リーダが離脱したときのネットワーク (a)
Fig. 4 Case of leaving group leader (a).

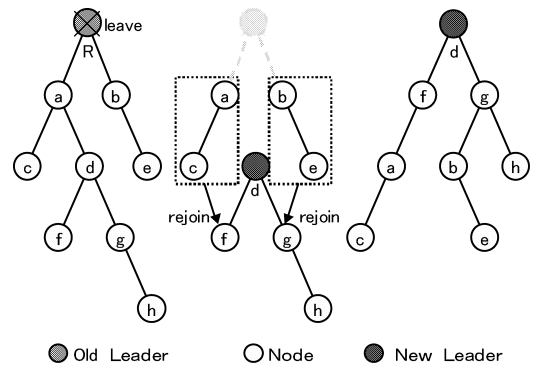


図5 リーダが離脱したときのネットワーク (b)
Fig. 5 Network of leaving group leader (b).

的に P2P ネットワークに送出しており、リーダーが離脱したグループの各端末はこの情報を用いて、グループ内で最も安定度の高い端末を新規グループリーダーとして P2P ネットワーク上で導き出す。そして、その端末が離脱した端末の親端末と接続することで再構築を行う。このとき、親端末と新規グループリーダーの間の結合度がある閾値以下の場合、結合性が最も高い既存グループリーダーに対して接続を行う。

以下に2つのパターンを用いて説明する。図4において Node a が離脱したとする。その場合、Node c が新規グループリーダーとなり、上位ノードの Node S と接続する。

図5では、グループ内に複数の端末が存在する場合を示しており、グループ内での配送ツリー再構築を必要とする。R をリーダーとするグループを表し、各端末はアルファベット a~h で表す。リーダー端末である R が離脱した場合、残りの端末 (a~h) から新規リーダー端末を選出し、その端末をルートとする配送ツリーを再構築する。端末 d が新規グループリーダーとなったとすると、a-c と b-e の部分が受信不可となる。そこ

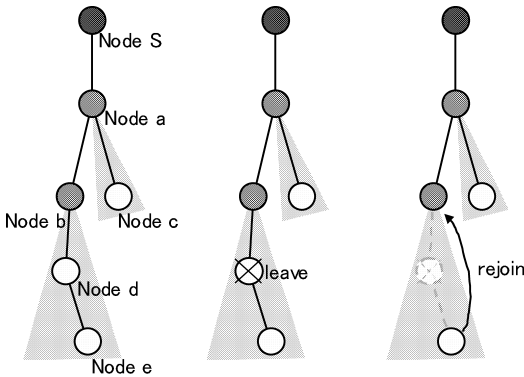


図 6 グループリーダ以外が離脱時

Fig. 6 Case of leaving node without group leader.

で子端末である a, b が d をルートとする配送ツリーへ再帰的にグループへの参加を繰り返す。その結果、グループ内の全端末がデータを受信可能となる。

このように、本手法では、各ノードがアルゴリズムを持っているため、離脱時に個々のノードが自律的に動作し、新たな親端末を検索し接続を行っている。

(2) 離脱したリーダから受信していたグループ

このグループでは、子端末であるグループリーダが再構築された新規グループリーダ端末と接続することで再構築を行う。新規グループリーダ端末との結合度が低かった場合は、全グループリーダから安定度と結合度が最高の端末を再接続先とする。

図 4 の場合、Node b 以下の端末群が相当する。Node b が新規グループリーダとなった Node c と接続することで再構築を完了する。Node b と Node c の結合度が低かった場合、ストリーミングデータの配信を行う各ノードが保有する配信ツリー情報に基づき、上位ノードの Node S を再接続対象とする。

グループリーダ以外の離脱

グループリーダ以外の端末が離脱した場合は、離脱した端末からストリーミングデータを受信していた端末が再度接続対象を決定することになる。

例として図 6 でその動作を説明する。図 6 のネットワークにおいて、Node d が離脱した場合、Node e は接続対象端末の決定を行い、グループ内の別端末 (Node b) に対して接続要求を出す。グループ内に接続可能な端末がなかった場合、接続対象グループの決定から順に再接続する。

4. 映像配信アプリケーションの実装

前述した手法を用いて実装された映像配信アプリケーションについて述べる。本アプリケーションはアプリケーションレイヤマルチキャストを P2P (ピア

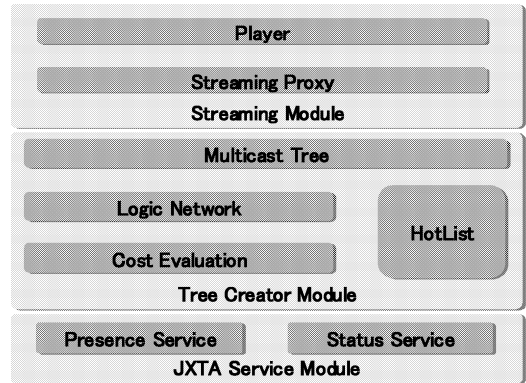


図 7 ピアシステム構成

Fig. 7 Peer system configuration.

ツーピア) プラットフォームである JXTA を基に実現し、提案手法によって配送ツリーを構築するものである。以下では、実装した映像配信アプリケーションについて述べる。

各ピアにおけるシステム構成を図 7 に示す。以下に示すように 3 層構造となっており、Java プラットフォームと JXTA サービスモジュールを用いて実装を行っている。

4.1 JXTA Service Module

3 章で説明した方式を実現するために、集中サーバを利用せずに各端末の情報を収集できなければならない。

Presence Service と Status Service の 2 種類のサービスを構築し、端末の参加、離脱、通信情報の取得と、安定度、結合度の取得を行い、Tree Creator Module に必要な情報を受け渡している。

Presence Service

端末の参加、離脱、接続の可否といった情報を交換する。結合度や安定度に関する情報の交換ではなく、マルチキャストへの参加状態や通信が可能かどうかといったマルチキャスト用の情報を交換する。

Status Service

安定度や結合度に必要なパラメータを取得し、それらの情報を交換する。対象端末がリーダかどうかや、グループへの参加可否も本サービスによって取得する。

4.2 Tree Creator Module

JXTA Service Module で取得した情報を基に配送ツリーを構築する。配送ツリーは接続対象を決定し、2 端末間でのユニキャスト通信を行うことで構築していく。また、ツリー情報は配送ツリー全体を把握する

のではなく、自身から把握できる範囲内の最適接続先を選択する。

Cost Evaluation

JXTA Service Module から取得した情報 (Status Service) より、各端末の安定度、結合度を導き出し、端末を評価する。ここでは自身も含めたすべての端末を評価する。

Logic Network

JXTA Service Module から取得した情報 (Presence Service) より、参加したいマルチキャストトポロジに参加中の端末を選択する。

HotList

評価された端末の情報を格納する。各端末の情報が更新されるたびに本リストも更新される。

Multicast Tree

格納した端末情報から、最適接続対象を決定する。最適接続対象は、評価順の接続先候補リストとして取得する。

4.3 Streaming Module

Tree Creator Module からの情報に従ってストリーミングデータを受信し、再生する。また、他端末からストリーミング要求があり、自身が配信可能な場合には、ストリーミングデータを再配信する。

Streaming Proxy

ストリーミングデータを送受信する。また、Tree Creator Module から取得した情報を元に接続先候補に対して送信要求を送り、ストリーミングデータを送信させる。他端末から接続要求が来た場合は、受信しているストリーミングデータを再配信する。

Player

受信したストリーミングデータを再生する。

5. 性能評価

本章では、3章で述べた提案方式によるマルチキャスト配送ツリーについて、ABR⁹⁾のアルゴリズムによるマルチキャスト配送ツリーとの比較を行うことによって評価する。

5.1 実験環境と評価方法

5.1.1 実験環境

実験では、100 Mbps のイーサネット上に端末数として 50、ネットワークポロジは隣接した 2 セグメント、端末個々の平均リンク数 3 のマルチキャスト配送ツリーを実機によるネットワーク上に構築した。提案アルゴリズム、ABR とともに安定度や結合度を必要とするが、上述の実験用ネットワークで取得されるデー

タでは、十分に安定度や結合度を得ることができない。また、両者を同一の環境によって比較を行うためにも、本論文では、それぞれランダムに 5 段階の数値を決定し、そのパラメータに従って配送ツリーを構築することとした。

次に前述した JXTA 上で実装した映像配信アプリケーションを用いて、ABR と提案したアルゴリズムの 2 種類の方式によって 2 通りのマルチキャストツリーを構築した。

構築方法としては、前述したようにランダムに生成した安定度を持つ端末を逐次マルチキャストへと参加させてマルチキャスト配送ツリーを生成し、規定の端末数を参加させた後にその配送ツリーの評価を行った。また、端末を離脱させ、配送ツリーの再構築に関しても比較を行った。

実用性を考慮した場合、より複雑なネットワークポロジ環境での実験が必要であり、インターネットのような階層型トポロジを利用するなどして遅延などの実環境のパラメータ環境に基づいた安定度や結合度の取得が必要であると考えられる。その上で、ネットワークシミュレータ (NS2)¹²⁾ などを用いて検証を行う必要がある。

5.1.2 評価方法

提案方式と ABR による 2 通りのマルチキャストツリーの比較項目として、端末の離脱に対して影響を受ける端末数、配送ツリーの再構築時間の 2 項目とした。

ここでの影響を受ける端末数とは、前述の実験環境上で構築されたマルチキャスト配送ツリーにおいて端末の離脱による影響を受ける端末数の平均値 (N) である。

すなわち、全端末数を n 、個々の端末 i における離脱影響端末数 T_i 、離脱率 R_i とすると以下のように算出される。 T_i については、上述したアルゴリズムを用いて逐次的にマルチキャストへ参加させたときに形成される配送ツリー形式によって、値が変化する不確定要素である。

$$N = \frac{\sum_{i=0}^n T_i \cdot R_i}{n} \quad (2)$$

ここで、離脱率は、5 段階の安定度に対してそれぞれ 0.00, 0.05, 0.15, 0.30, 0.50 とした。

また、再構築時間とは、マルチキャスト配送ツリー内の端末をランダムに離脱させた場合に、再度全端末が映像データを受信できる状態になるまでの平均時間である。

5.2 実験結果と考察

5.2.1 離脱により影響を受ける平均端末数

実験環境において各アルゴリズムによって構築されたマルチキャスト配送ツリーにおいて、端末離脱によって影響を受ける端末数の平均値 (N) を用いて導き出すと図 8 のようになった。横軸は実験に使用した全端末数であり、縦軸が離脱により影響を受ける平均端末数である。

端末数が 5~25 程度の場合、提案手法と ABR の間にはわずかの差しかない。これは、端末数が少ないために ABR の問題点である配送ツリーの偏りの発生があまり起こらなかったことが原因と考えられる。また、提案手法におけるグループ化も、グループ化を行う場合の端末数が非常に少なくなることが多く、グループ化を行う効果が現れにくい。

端末数が比較的増加した 30~50 の場合、提案手法と ABR の間には大きな差が生まれた。

ABR では端末数の増加に対して、グループ化機能を持たず、結合度をベースとして配送ツリーを構築するため、特定の部分が肥大化する可能性が高くなるといったツリーの偏りが発生するのに対し、提案手法では端末数の増加による配送ツリーの偏りはほとんど発生しないためである。

すなわち、ABR においては、2.1 節で説明したように、接続要求端末から見た全端末との結合度を評価値のベースとするため、端末間のホップ数にかかわらず比較的評価値の高い端末に集中して接続されるためである。提案方式では、セッション中はグループ化された範囲内での解決を第 1 に行いつつ、次の段階として、全グループリーダを対象としているため、特定のグループに端末が偏る現象が発生しにくい。

5.2.2 再構築時間

実験環境において、各アルゴリズムによって構築されたマルチキャスト配送ツリーにおいて、再構築時間を取得すると図 9 のようになった。横軸は実験に使用した全端末数であり、縦軸が端末の離脱からマルチキャスト配送ツリーの再構築に要した平均時間である。

端末数が 5~20 程度の場合、提案アルゴリズムより ABR の方がより良い結果となっている。端末数が少ない場合、再構築時に再接続先が接続できないといった問題が発生することが少ないため、単純な再構築手法を用いる ABR が高速に復旧することができたためだと考えられる。それに対し提案アルゴリズムでは、リーダの離脱によって比較的時間のかかる再構築が発生する場合があるため、端末数が少ない場合、平均時間が遅くなってしまふ。

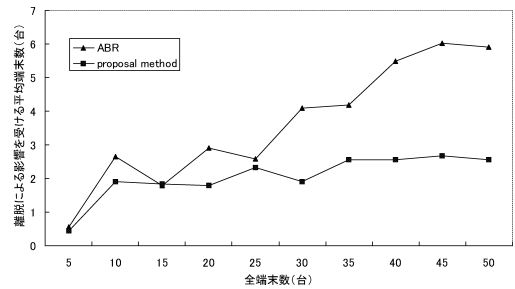


図 8 離脱により影響を受ける端末数

Fig. 8 Number of nodes with influence by withdraw.

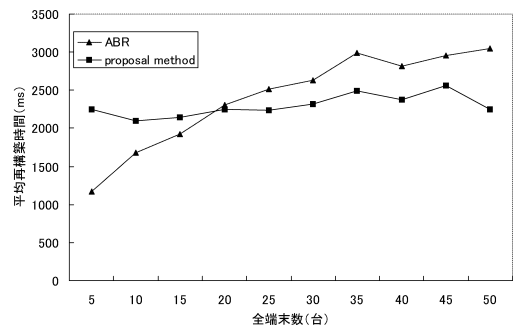


図 9 平均再構築時間

Fig. 9 Average time of reconfiguration.

端末数が 25~50 程度の場合、ABR より提案アルゴリズムの方が良い結果となった。端末数が増加するにつれて、再構築時に接続先端末を決定できない場合が増加するため、ABR では徐々に時間を必要としている。提案手法では、端末数が増加した場合でも端末数が少ない場合とほぼ同様に再構築を行うことができるため、再構築時間も大きく増加しない。

5.2.3 考察

上記の結果から、端末間の結合度を考慮しつつグループ化を行うことで、端末の離脱に対する影響を局所化し再構築を高速化する事ができると判断できる。

ABR 方式を用いてマルチキャスト配送ツリーを構築した場合、端末間の結合度が高い端末のつながったツリーに集中してしまうことがあり、離脱の影響を受ける平均端末数が大きくなってしまふ。これに対し提案方式では、必要な安定度を確保しつつ結合度が高い端末が各グループに分散されたため、影響を受ける端末数が減少したと考えられる。

さらに、端末の離脱が生じた場合、配送ツリー生成時から結合性と安定度に基づいて構築を行っているため、離脱可能性の低く安定度の高い端末が配送ツリーの上流に位置する結果となった。安定度の高い端末が離脱した場合においても、同じ上流には同様に安定度

の高い端末が存在するため、再構築の範囲は限定されるものとなり、大規模マルチキャスト配送ツリーの構築手段として実用性の高いものとなりうる。

次に、平均再構築時間では、端末数が増加するにつれて提案アルゴリズムが有効であることが見られた。端末数が少ない場合は、提案アルゴリズムでの再構築処理の複雑さによって ABR の方がよりよい結果となる。しかし、端末数が増加してもグループ生成による効果によって再構築時間が大きく変化せず、その結果、ABR 以上に有効となると考えられる。

実用性の観点において、端末数が増えても平均再構築時間が増加しない点は、本システムで利用する映像ストリーミングコンテンツの性質から見ても、受信プレイヤーがタイムアウトしなくなるなど利点があるため、有用な結果となった。

問題点としては、端末数が少ない場合においては、有効性が小さい点や、安定度の高い端末が少ない場合、グループ内端末数が肥大化し、グループ化の利点を得られない状態になり、処理のオーバーヘッドが増加することもあげられる。

さらに安定度の高い端末に依存した配送ツリーを構築するため、安定度や結合度の評価値をどのように決定するか、実環境要因とシミュレーションの両面から検討する必要がある。

6. ま と め

本論文では、アプリケーションレイヤマルチキャストを利用した容易なコンテンツ配信プラットフォームの提案・実装を行い、その一問題点である端末の離脱に対して、安定度と結合性をういた配送ツリーの構築とグループ化を行うことで対処した。また、提案アルゴリズムを実現した映像配信アプリケーションを実装し、既存プロトコルである ABR と比較した。その結果、端末離脱に対する優位さを離脱により影響を受ける端末数、平均再構築時間を評価することで示すことができた。

この結果より、大規模映像配信サービスにおけるコンテンツ配信プラットフォームを構築する見通しを得た。

今後の課題としては、本論文では、プロトコルの対等な評価を行うために結合度や安定度をランダムに決定したため、その実環境での評価につながっていない点など詳細な評価を行う必要がある。これらについては、現在、ネットワークシミュレータによる評価を行っている。

これらの評価を行った後、グループ内端末数の限界

値や結合度、安定度の決定方法をより詳細化する必要がある。また、今後の利用形態を考慮した場合、アドホックネットワークを含めたモビリティを考慮する必要がある環境についても調査・検討が必要である。

謝辞 本研究の一部は、科学研究費基盤研究(B)(課題番号 15300023)の支援を受けて行われた。

参 考 文 献

- 1) Pendaraskis, D., Shi, S., Verma, D. and Waldvogel, M.: ALMI: An application level multicast infrastructure, *Proc. 3rd USENIX Symposium on Internet Technologies and Systems (USITS)*, pp.49–60 (2001).
- 2) Banerjee, S., Bhattacharjee, B. and Kommareddy, C.: Scalable Application Layer Multicast, *Proc. ACM Sigcomm* (2002).
- 3) Banerjee, S., Kommareddy, C., Kar, K., Bhattacharjee, B. and Khuller, S.: Construction of an Efficient Overlay Multicast Infrastructure for Real-time Applications, *IEEE Infocom* (2003).
- 4) Deshpande, H., Bawa, M. and Garcia-Molina, H.: Streaming Live Media over Peers, Technology Rep. 2001-31, Stanford University (2001).
- 5) Jannotti, J., Gifford, D.K., Johnson, K.L., Kaashoek, M.F. and Toole, J.W.O': Overcast: Reliable Multicasting with an Overlay Network, *Proc. 4th Symposium on OSDI*, pp.197–212 (2000).
- 6) 常村和史, 山口弘純, 東野輝夫: オーバレイマルチキャストにおける遅延最小木の自律的再構築アルゴリズムの提案と評価, 情報処理学会技術報告, マルチメディア通信と分散処理研究会, Vol.2002, No.111 (2002-DPS-111), pp.7–12 (2003).
- 7) Thilmee M. Baduge, 廣森聡仁, 山口弘純, 東野輝夫: オーバレイネットワーク上で遅延最小木を動的に構築する分散型プロトコル MODE の提案と評価, 情報処理学会論文誌, Vol.46, No.2, pp.482–492 (2005).
- 8) Mimura, N., Nakauchi, K., Morikawa, H. and Aoyama, T.: RelayCast: A Middleware for Application-level Multicast Services, *Proc. 3rd International Workshop on Global and Peer-to-Peer Computing on Large Scale Distributed Systems (GP2PC 2003)*, pp.434–441 (2003).
- 9) Toh, C.-K.: Associatively-based routing for ad-hoc mobile networks, *Wireless Pers. Commun. J.*, Vol.4, No.2, pp.103–109 (1997).
- 10) Dube, R., Rais, C.D., Wang, K.-Y. and Tripathi, S.K.: Signal stability-based adaptive routing (SSA) for ad hoc mobile networks, *IEEE Personal Communications*, pp.36–45 (1997).

- 11) 江上武史, 中沢 実, 江守拓実, 服部進実: 結合性に基づくアプリケーションレイヤマルチキャスト配送ツリーの構築, 情報処理学会マルチメディア通信と分散処理ワークショップ, Vol.2004, No.15, pp.287-292 (2004).
- 12) NS2. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>

(平成 17 年 5 月 9 日受付)

(平成 17 年 11 月 1 日採録)



中沢 実 (正会員)

1991 年金沢工業大学工学部情報工学科卒業。1993 年同大学院工学研究科情報工学専攻修士課程修了。同年株式会社富士通研究所に入社。1996 年金沢工業大学助手。2002 年金沢工業大学助教授。工学博士。自律分散システム・ネットワークアーキテクチャの実装方式に関する研究に従事。電子情報通信学会, 映像メディア学会各会員。



江上 武史

2003 年金沢工業大学工学部情報工学科卒業。2005 年同大学院工学研究科情報工学専攻修士課程修了。同年富士通北陸システムズに入社。在学中, 映像配信システムの設計・実装の研究に従事。



江守 拓実

1999 年金沢大学理学部物理科卒業。2001 年同大学院自然科学研究科数物科学専攻修士課程修了。同年アルファシステムズに入社。P2P システム, 情報家電通信プロトコルの設計・実装の研究に従事。



服部 進実 (正会員)

1964 年東北大学工学部電子工学科卒業。同年より富士通株式会社にて情報通信システムの研究開発部門に所属。1989 年金沢工業大学情報工学科教授。1995 年同大学人間・情報・経営工学系長。電子情報通信学会通信グループ副委員長。本学会北陸支部長を歴任。工学博士。情報通信システム, 分散処理システムの研究に従事。電子情報通信学会, 人工知能学会, 映像メディア学会, IEEE 各会員。