

結合性に基づく アプリケーションマルチキャスト配送ツリーの構築

江上 武史* 中沢 実** 江守 拓実† 服部 進実**

* 金沢工業大学大学院 情報工学専攻 〒921-8501 石川郡野々市町扇が丘 7-1

† 株式会社 アルファシステムズ 〒211-0053 川崎市中原区上小田中 6 丁目 6 番 1 号

** 金沢工業大学大学院 知的創造システム専攻 〒105-0002 東京都港区愛宕 1-3-4

E-mail : { egami, nakazawa, hattori } @ infor.kanazawa-it.ac.jp † { emorit } @ alpha.co.jp

本稿では、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、端末の結合の信頼度を利用し、かつ、グループ化を追加することで、端末の離脱に対して高信頼度なマルチキャスト配送ツリーの高速な再構築を実現している。さらに、実ネットワークの端末上に実装した映像配信アプリケーションの構築方式について述べる。

A Construction of the Application Layer Multicast tree based on Associativity

Takeshi Egami* Minoru Nakazawa** Takumi Emori†

Shimmi Hattori**

* Graduate school of Information Engineering, Kanazawa Institute of Technology
7-1 Ogigaoka, Nonoichimachi, Ishikawagun 921-8501

† Alpha Systems inc. 6-6-1 Kamikodanaka, Nakaharaku, Kawasaki 211-0053

** Graduate school of Intellectual creation system, Kanazawa Institute of Technology
1-3-4 Atago, Minatoku, Tokyo 105-0002

In this paper, we propose high reliability multicast distribution tree construction method on application layer multicast. When a participant changes dynamically, it is expected of attaining both high stability and high-speed reconstruction. By this proposal system, we used associativity and grouping of the node. As a result, we reconstructed high reliability multicast tree at high speed. Furthermore, we describe the construction system of the streaming distribution application mounted on the node of a real network

1 はじめに

近年、ブロードバンドの普及により、動画や音声といったマルチメディアコンテンツの利用が増加してきた。これらは静止画やテキストに比べ高品質なサービスを提供するが、同時に配信サーバやネットワークに大きな負担を必要とする。

この問題に対して、IP マルチキャストという解決策が知られている。IP マルチキャストはネットワーク資源の利用効率の点では有用であるが、インフラストラクチャの普及度やグループ管理の困難さなど多くの課題を抱えているため、広域通信での利用は困難である。そこで、アプリケーションレイヤマルチキャスト（以下、ALM）という技術が注目を集めている[1, 2, 3, 4, 5]。ALM はピアツーピア (P2P) マルチキャストやオーバーレイマルチキャストとも呼ばれ、アプリケーションレイヤ上においてオーバーレイネットワークを構築した上で、擬似的なマルチキャスト配信を実現しようとする技術である。各端末(ピア)がマルチキャストグループメンバ管理、パケットの複製・転送といった機能を有し、オーバーレイネットワーク上の仮想リンクにしたがって端末間のユニキャストの連携で通信を行う。その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、実現が容易であるという利点がある。しかし、端末周辺での帯域制限や、端末の離脱が発生する問題があるため、配送ツリーの構築方法が重要となる。

マルチキャスト配送ツリー構築に関する従来の研究では、遅延最小木の構築や再構築時間短縮を対象としたものが多い[6, 7, 8]。そのため、ALM で頻繁に発生する可能性のある、端末の離脱を原因とする再構築処理によるオーバーヘッドやトラヒックが大きくなるといった問題を対象とした研究は少ない。

また、アドホックネットワークにおいて、リンクの切断を減らすために信頼性を利用するルーティングプロトコルとして Associativity - Based Routing (以下、ABR)[9]、Signal Stability - based Adaptive routing (SSA)[10] などがあるが、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。

本研究では、端末間の結合の信頼度を考慮し端末のグループ化を行うことで、再構築の発生を最小限に抑える手段や、発生した場合でも影響を局所的なものに抑制可能な方法を提案する。

2 研究背景

本章では ABR を例として経路の安定性ベースのルーティングプロトコルを簡単に示す。

2.1 ABR

ABR 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。ここで言う結合性とは、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には受信端末がもつ経路テーブルを示し、テーブルは左から経路内端末、評価値、ホップ数を表す。ここでは各端末の経路中継負荷は最大値未満であり、結合性の許容範囲を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

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

で表す。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している。評価値が最大の経路以外を破棄し、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、その中から適当に選択する。図1のネットワークでは経路4 (S-a-b-R) が選択される。

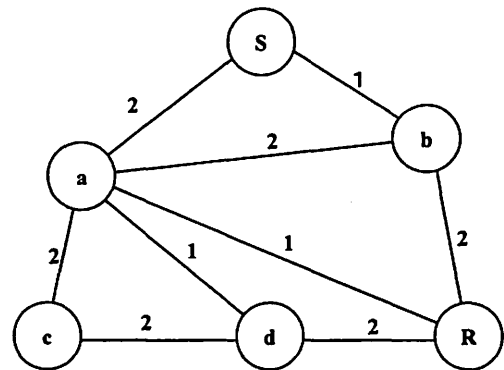


図1 ABRにおける経路選択

表1 経路選択結果

	経路内端末	評価値	ホップ数	選択経路
経路1	S-b-R	0.50	2	
経路2	S-a-R	0.50	2	
経路3	S-a-d-R	0.67	3	
経路4	S-a-b-R	1.00	3	○
経路5	S-a-c-d-R	1.00	4	

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ALM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. 端末間のリンクの切れやすさを考慮し、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、グループリーダ同士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。

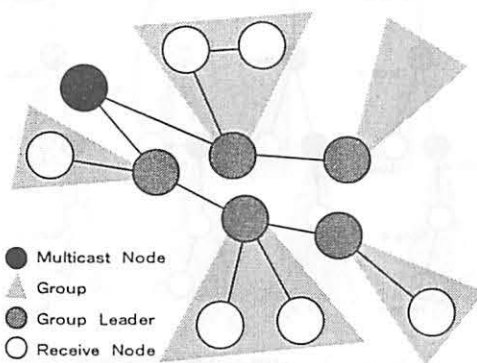


図 2 マルチキャスト配送ツリーの例

提案アルゴリズムでは、端末を少数のグループにまとめ、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ことで、安定的なマルチキャスト配送ツリーを高速に再構築することができる。しかしこの場合、グループ間のゲートウェイとなる端末が非常に重要となる。ゲートウェイの

離脱は広範囲へ影響を与えるためである。ここで信頼度と結合度を利用し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とで、広範囲に影響を与える離脱を減らすことができる。

また、リンクの安定度という概念を用いるが、モバイルアドホックネットワークで用いられている結合性をそのまま用いることができない。そこで、接続の強さと端末のネットワーク上にいる確率の2パラメータをそれぞれ結合度、信頼度と表すこととする。

以下、提案アルゴリズムを示す。ここではマルチキャストセッションを

1. セッション開始前
2. セッション中の端末参加時
3. セッション中の端末離脱時

の3つの段階に分割し、以下でそれぞれの動作について示す。

3.1 セッション開始前

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。

1. 参加要求をした端末から順に配送ツリーを構築
2. ある一定数まで要求を受け付けて、集中的なアルゴリズム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信頼度は、2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。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、できるだけ集中的な処理を避けることを目標としているため、1の方法を前提とする。

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で結合度と信頼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 セッション中の端末参加時

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。

1. 接続対象グループの決定
2. 接続対象端末の決定

それぞれについてプロトコルを与える。

3.2.1 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。参加要求を受け取ったグループリーダーは、グループに参加可能な場合はその要求を受け入れる。この操作を参加要求が受け入れられるまで行う。

3.2.2 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結合度と信頼度を基準として接続対象を決定し、接続要求を出す。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。このときグループリーダーが接続対象となった場合、3.1と同様にグループ生成が可能か検証を行う。

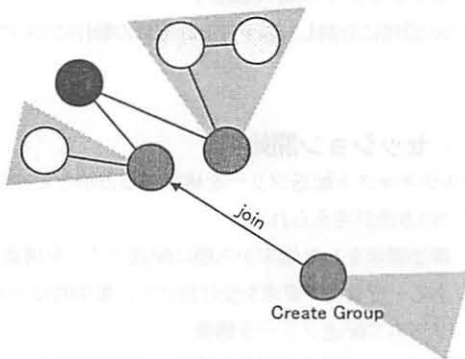


図 3 端末参加アルゴリズム

3.3 セッション中の端末離脱時

提案アルゴリズムでは、各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対してプロトコルを与える。

3.3.1 グループリーダー以外の端末が離脱した場合

グループリーダー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。このような端末がなかった場合は特に何も行う必要はない。

例として図 4 にてその動作を説明する。

図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度行い、再接続する。

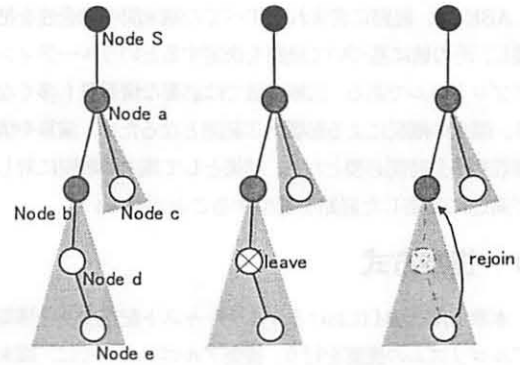


図 4 リーダ以外の端末が離脱した場合

3.3.2 グループリーダーが離脱した場合

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。

1. リーダの離脱したグループ
2. 離脱した端末からデータを受信していたグループ
3. 離脱した端末にデータを送信していたグループ

3 では特に処理を必要としないが、1 と 2 では、配送ツリーの再構築が必要となる。以下では、1 と 2 それぞれのグループにおいて必要な処理を示す。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。例として図 5 において Node a が離脱したとする。

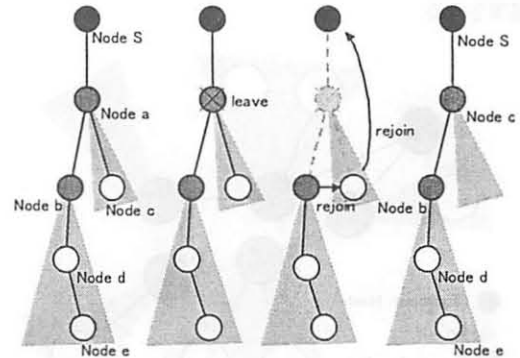


図 5 リーダ端末が離脱した場合

1. リーダの離脱したグループ

図 5 のネットワークでは Node c が対象となる。このグループでは、グループ内で最も信頼度の高い端末を新規グループリーダーとし、その端末が親端末と接続することで再構築を行う。例では Node c が新規グループリーダーとなり Node S と接続する。

グループ内に複数の端末が存在する場合、グループ内での配送ツリー再構築を必要とする。例として図6にてグループ内での配送ツリー再構築を示す。図6は、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。

図6のネットワークにおいて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。そこで子端末であるa, bがdをルートとする配送ツリーへと再度参加する。結果としてグループ内の全端末がデータを受信可能となる。

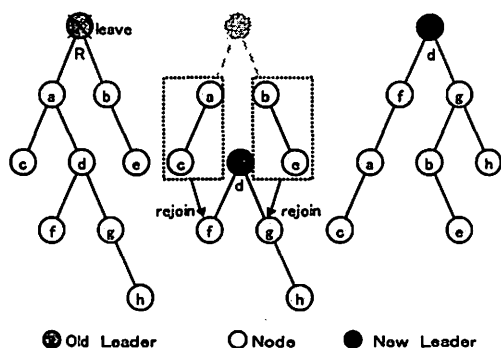


図6 グループ内でのリーダー決定と再構築

2. 離脱した端末からデータを受信していた別グループ

図5のネットワークではNode b以下の端末群が対象となる。このグループでは、子端末であるグループリーダーが再構築された新規グループリーダーと接続することで再構築を行う。新規グループリーダー端末との結合度が低かった場合は、全グループリーダーから信頼度と結合度が最高の端末を再接続先とする。

例ではNode bが新規グループリーダーとなった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、Node Sを再接続対象とする。

4 提案アルゴリズムの評価

本章では、前章で説明したアルゴリズムによってできたマルチキャスト配送ツリーについて、文献[9]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。評価は、実機上に実装した映像配信アプリケーションを用いて行った。

4.1 実験環境

ネットワークモデルとして、ノード数が50で、各ノードに繋がるリンク数平均3のマルチキャスト配送ツリーを生成した。各端末はランダムに5段階の信頼度を設定した。

4.2 実験方法

文献[9]で提案された方式と前章までで提案した方式による2通りのマルチキャストツリーを作成した。この2通りのマルチキャストツリーを比較する項目として、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、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である。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。

4.3 実験結果

影響を受ける端末数、再構築時間に関して、それぞれグラフを作成した。

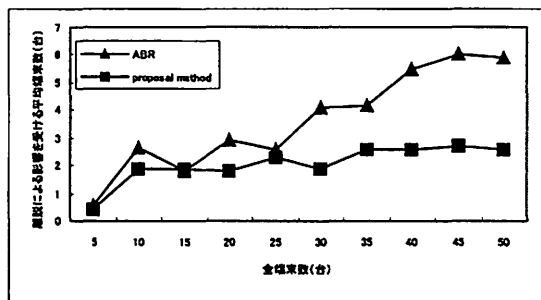


図7 影響を受ける端末数

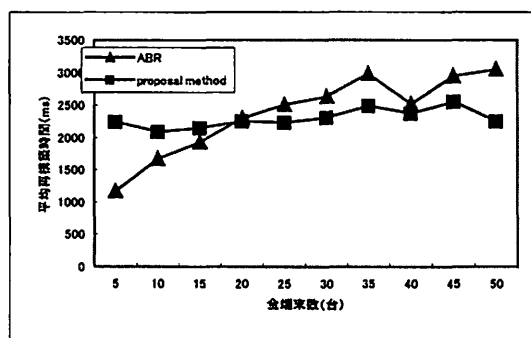


図8 平均再構築時間

この結果から、影響を受ける平均端末数において全端末数の増加に対して有効な結果を出せることを確認できた。また、平均遅延時間についても端末の増加にともない有効な結果を出すことができた。

4.4 考察

この結果から、端末間の結合度を考慮しつつグループを行うことで端末の離脱に対して影響を局所化しつつ再構築を高速化することができることがみられた。論文 [9] で提案された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、影響を受ける平均端末数が大きくなってしまふ。それに対し提案方式では、必要な信頼度を確保しつつ結合度が高い端末がある程度分散されたため、影響を受ける端末数が減少したと考えられる。

また、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みられた。端末数が少ない間はグループ生成による新たなオーバーヘッドのため文献 [9] のアルゴリズムがよりよい結果となるが、端末数が多くなるにつれてグループ生成による利点を得ることができるようになり、提案アルゴリズムが有効な結果となると考えられる。

5 おわりに

本研究ではアプリケーションレイヤマルチキャストにおける配送ツリーの動的構築アルゴリズムを提案し、そのアルゴリズムを利用した映像配信アプリケーションを実装した。評価に関しては現在評価項目を検討中である。

今後の課題としては、グループの端末数と結合度や信頼度のパラメータの設定方法などを挙げる事ができる。また、モバイルアドホック環境におけるトラヒックの影響に関する調査、検討も必要である。

参考文献

- [1] D. Pendarakis, S. Shi, D. Verma, and M. Waldvogel.
"ALMI: An application level multicast infrastructure."
In Proceedings of 3rd USENIX Symposium on Internet Technologies and Systems(USITS), pp.49-60, 2001
- [2] Suman Banerjee, Bobby Bhattacharjee, Christopher Kommareddy
"Scalable Application Layer Multicast"
Proceedings of ACM Sigcomm 2002, Pittsburgh, Pennsylvania, August 2002
- [3] Suman Banerjee, Christopher Kommareddy, Koushik Kar, Bobby Bhattacharjee, Samir Khuller
"Construction of an Efficient Overlay Multicast Infrastructure for Real-time Applications"
Accepted for publication in IEEE Infocom 2003, San Francisco, April 2003.
- [4] H.Deshpande, M.Bawa, H.Garcia-Molina,
"Streaming Live Media over Peers",
Technology Rep. 2001-31, Stanford University, 2001.
- [5] J.Jannotti, D.K.Gifford, K.L.Johnson, M.F.kaashoek, and J.W.O'Tbole.
"Overcast: Reliable Multicasting with an Overlay Network."
Proc. Of the Fourth Symposium on OSDI, pp. 197-212, Oct.2000
- [6] Duc A. Tran, Kien A. Hua, Tai Do
"ZIGZAG: An Efficient Peer-to-Peer Scheme for Media Streaming"
IEEE INFOCOM 2003
- [7] 常村和史, 山口弘純, 東野輝夫,
"オーバー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, DPS112, pp.7-12, 2003年3月
- [8] ティルミーマリング, 廣森聡仁, 山口弘純, 東野輝夫
"ノード障害に対する自律分散的回復を可能とするオーバーレイ遅延最小木の構築アルゴリズム"
情報処理学会, DPS115, pp. 33-38, 2003年11月
- [9] C.-K. Toh,
"Associativity-based routing for ad-hoc mobile networks," Wireless Pers. Commun. J, vol. 4, no.2, pp. 103-109, Mar, 1997
- [10] R.Dube, C.D.Rais. K.-Y. Wang, and S.K.Tripathi,
"Signal stability-based Adaptive routing (SSA) for ad hoc mobile networks," IEEE Personal Communications, pp. 36-45, Feb. 1997