

予備経路と代替ノード検索を用いた ALM 手法の提案

木村大樹^{†1} 高橋信行^{†2}

アプリケーションレベルマルチキャストによるリアルタイムストリーミング配信では、ツリー型 ALM を利用するのが一般的である。しかしツリー型 ALM は、ノードの離脱や意図しない通信切断が発生する度にネットワークの再構築が必要となり、配信の中断や遅延が発生しやすい問題がある。配信の中断を防ぐため、予め予備ノードを保持する提案がされているが、再構築後にネットワークのツリー長が長くなりやすい問題がある。そこで本研究では、複数のツリーと代替ノード検索を用いることで、配信中断を防ぎつつも、ネットワークの再構築後もツリー長を短く抑える新たな ALM 手法の提案を行う。またシミュレータにより動作を確認し、既存の手法と比較することで提案手法の有効性を示す。

Route Maintenance of Overlay Trees for Application-Level-Multicast using Proactive Routes and Alternative Nodes

TAIKI KIMURA^{†1} and TAKAHASHI NOBUYUKI^{†2}

A tree structure application level multicast is used for real time streaming. However, network is reconstructed each time node leaves, and there is problem that connection becomes unstable. The method of using proactive routes is proposed in previous study, big delay in part occurs.

In this study, we present a solution to these problems, which reconcile the two methods of a proactive route and alternative nodes.

We evaluate the our proposed algorithm through NS2 simulations, and performance comparison is carried out with previous study.

^{†1} 公立はこだて未来大学大学院システム情報科学研究科

Graduate School of Systems information Science Future University Hakodate

^{†2} 公立はこだて未来大学システム情報科学部

School of Systems Information Science Future University Hakodate

1. はじめに

近年、動画や音楽といったマルチメディアコンテンツを、インターネットを通してリアルタイムストリーミング配信するサービスが普及してきている。普及に伴い、同一データを特定多数の相手へ送信するマルチキャスト通信への需要が高まっている。マルチキャスト通信を実現する方法に、マルチキャストをアプリケーション層で実現する ALM (Application Level Multicast) がある。1)–3)

ALM では、エンドノード間で構築されるオーバーレイネットワーク上にマルチキャストツリーを構築する。ネットワークに参加している各ノードは、構築したマルチキャストツリーに従い、パケットの複製、子ノードへのパケット送信を担うことでマルチキャスト通信を実現する。各ノードがマルチキャストツリーの構成要素となるため、参加ノードがネットワークから離脱した場合、マルチキャストツリーの再構築が必要となる。この際、マルチキャストツリーの再構築中は、離脱したノードの子ノードはデータを受け取ることが出来ないため、コンテンツの配信中断が発生しやすい問題がある。また、ネットワークの再構築後は再構築前に比べツリー長が長くなりやすく、配信遅延が大きくなりやすい問題がある。これらの問題は、ネットワークの再構築ごとに発生するため、ノードの参加離脱が頻繁に発生するような環境では顕著に現れやすい。

このような問題に対し、予め親ノードの離脱に備え、各ノードが予備ノードを確保しておくことにより、データ損失を抑える手法が提案されている。1)、2) しかし、これらの提案ではネットワークの再構築後、配信ツリーの一部に配信遅延の大きいノードが生まれやすい問題がある。また他の手法として、離脱したノードの代替ノードを検索することにより、ツリー長を短く抑えるネットワーク構築提案がされている。3) ただし、この手法を利用するにはスーパーノードが必要となるなどの制約がある。そのため、参加ノードの離脱が頻繁に発生しても再生中断、再生遅延が発生しづらい新たな ALM 手法が求められる。

そこで本研究では、複数ツリーを構築することで予備経路を確保しつつ、代替ノード検索を利用することで、配信中断、大きな配信遅延が発生しづらい新たな ALM 手法を提案する。本研究は、小規模から中規模でのリアルタイムストリーミング配信への利用を目的とする。提案ではソースノードがマルチキャストツリーを 2 本構築し、各ノードは自身とは別のツリーに属するノードと互いに予備経路として設定しあう。またノード離脱時には、予備経路からデータを受け取りつつ代替ノードを検索することで、ネットワーク再構築後のツリー長が長くなる問題を抑える。以上の方法を用いることで、提案手法はスーパーノードを必要

とせず、配信中断、大きな配信遅延の発生を抑えた配信を可能とする。

本研究では提案手法の有効性を示すため、シミュレータ上で提案手法を動作させ、動作検証、性能調査を行う。また同様に従来手法もシミュレータ上で動作させ、平均ツリー長、最大ツリー長を比較することで手法の性能評価も行う。

2. アプリケーションレベルマルチキャストネットワークの構築

ALM では各ノードが親から受け取ったデータを複製し、子へデータを送信することでマルチキャストを実現する。各ノードが受け付けることのできる最大の子の数を Max-degree、ある時点で受け付けることのできる子の数を degree と呼ぶ。この際、各ノードはオーバーレイネットワーク上に構築したツリーネットワークに従い、ユニキャスト通信を用いて送信する。ALM の有効な使用例にリアルタイムストリーミング配信が挙げられ、一般に単一ソースノードによるツリー型 ALM が利用される。

ツリー型 ALM は、新規ノードがセッションに参加する場合に行う join、ノードがセッションから離脱する場合に行う leave、セッションに参加しているノード間で生存確認を行う failure という 3 つのサブアルゴリズムにより構成される。ALM では leave 処理が行われたときや、failure 処理により通知なしに離脱したノードが見つかったとき、ネットワークの再構築を行う。このとき、再構築に時間がかかった場合や、再構築後のツリー長が長くなった場合、配信の中断や遅延が発生する。そのため、それらの問題を軽減するネットワーク構築手法が求められる。

2.1 予備経路を用いたネットワークの再構築

ALM ではノードが離脱した際、配信の中断を防ぐため、迅速なネットワークの再構築が必要となる。そこで親ノードが離脱した場合に備え、予め予備経路を確保しておく手法が提案されている 1)、2)。

YANG らの研究 1) では、全てのノードが予備経路用として degree を 1 つ確保する。各ノードは同じノードを親に持つノード間で、分岐のない直線状の予備経路を作成する。直線状の予備経路の最上位ノードが、祖父ノードを予備経路に設定する。親が離脱した場合、この予備経路を利用し素早いネットワークの再構築を行う。ただしこの手法では、予備経路が直線的に作成されるため、再構築後のネットワークのツリー長が長くなりやすい問題がある。

高木らの研究 2) も Yang らの研究と同様に、同じ親を持つノード間で直線状の予備経路を設定する。それに加えて、予備経路設定後にも degree が 2 以上ある場合、追加で予備経

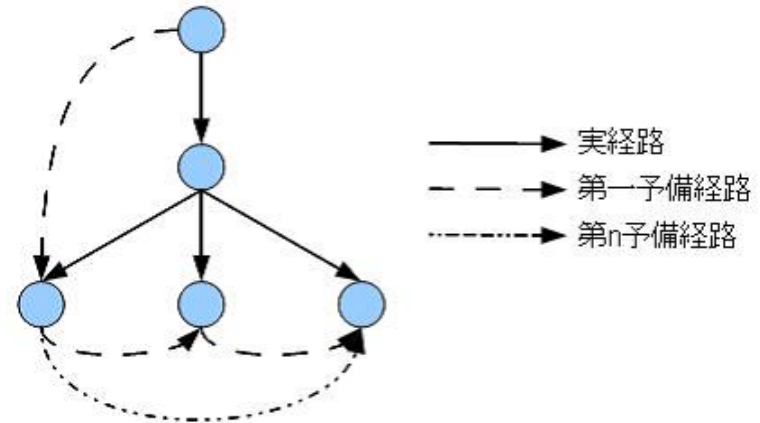


図 1 高木らの手法による予備経路の作成
Fig.1 proactive routes by existing method

路を設定することでツリー長が長くなる問題を防いでいる。ただし親が離脱したとき、最初に設定した直線的な予備経路は確定的に利用できるが、追加で設定した予備経路は親の離脱時点で degree に余裕がある場合のみ利用できる。そのためこの手法においても、親ノードが離脱した際、追加で設定した予備経路が利用できなかった場合には、Yang らの手法と同様にツリーが直線的に再構築され、ツリー長の長い部分が発生してしまう。

2.2 代替ノード検索によるネットワークの再構築

谷本らの研究 3) では、離脱したノードの代替ノードを検索する手法が提案されている。ノードが離脱したとき、下流のノードから代替ノードとして検索し、離脱ノードの代わりとして利用することで、ツリー長が長くなる問題を抑えている。しかし谷本らの研究はスーパーノードの利用を前提としており、手法を利用するためにはスーパーノードが必要となる制約がある。

3. 予備経路と代替ノード検索を用いた ALM 手法

ツリー型 ALM において、ノードの離脱による再生の中断や遅延を軽減する手法がいくつか提案されているが、それらは問題を抱えている。そこで本研究ではスーパーノードを必要とせず、配信遅延、配信中断を抑える、複数のツリーネットワークによる予備経路作成と、

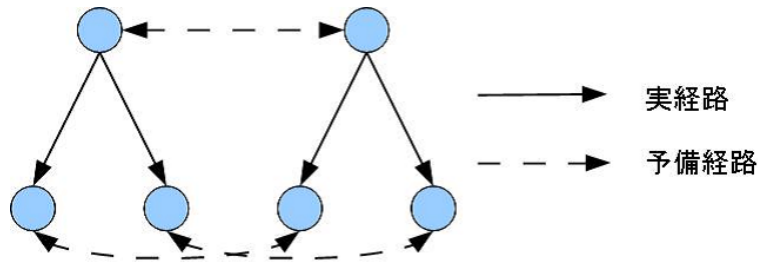


図 2 提案手法による予備経路の作成
Fig. 2 proactive routes by propose method

代替ノード検索を用いる新たな ALM 手法の提案を行う。

提案手法ではソースノードが 2 本のツリーネットワークを作成し、それぞれのツリーネットワークの対応するノード同士は予備経路として確保し合う。ソースノードは、Max-degree を 2 とし、最大で 2 つの子を保持する。ソースノード以外の全ノードは Max-degree を 3 に固定し、それぞれ最大で 2 つの子と 1 つの予備ノードを保持する。各ノードは子、親、予備ノードと生存確認し合う。その際、自身の保持する子ノード情報を送信し、受け取ったノードはネットワーク構築にその情報を利用する事でツリー長を短く保つ。また、親ノードが離脱した場合は、予備経路からデータを受信しつつ、自分以下の下流ノードの中から親ノードの代替ノードを検索する。これにより、再構築後にツリー長が長くなる問題を防ぐ。

提案手法のアルゴリズムも、join,leave,failure の 3 つのサブアルゴリズムから成る。以下にそれらの詳細を述べる。

3.1 join アルゴリズム

新規にセッションに参加するノードは、まずソースノードに対して接続要求を送信する。接続要求を受け取ったノードは、ノードを子として受け入れが可能な場合、受け入れ可能メッセージを返信する。また、受け入れ出来ない場合は、受け入れ不可メッセージと、再接続先ノードの情報を返信する。

受け入れ可否の判定のアルゴリズムを図 3 に示す。判定は予備ノードが存在しているか、自身の保持する子の数が予備ノードの保持する子より少ないか、自身の保持する子の数が 2 以下であるかの 3 つの条件により行う。まず予備ノードを参照する。予備ノードが存在しない場合、参加受け入れを拒否し、自身の親の予備ノードを再接続先ノードとして送信する。なおこの判定は自身がソースノードである場合は行わない。次に予備ノードの保持する子

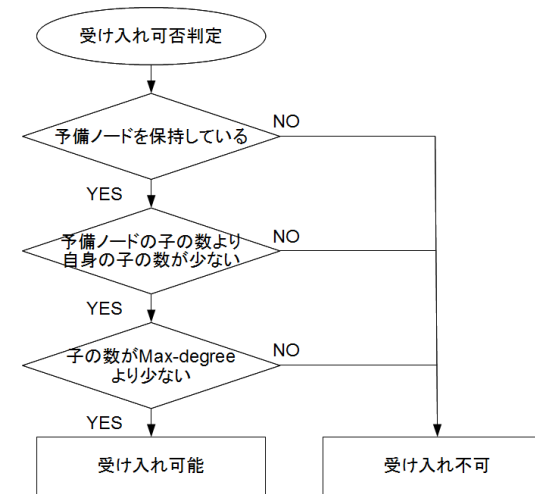


図 3 受け入れ可否判定アルゴリズム
Fig. 3 criterion of acceptance

の数を参照する。予備ノードの保持する子の数が、自身の保持する子の数より少なかった場合、参加受け入れを拒否し、予備ノードを再接続先ノードとして送信する。なおこの判定も、ソースノードは予備ノードを保持していないため行わない。最後に自身の子の数を参照する。子の数が 2 である場合、参加受け入れを拒否し、自身の子の中から 1 つを選択し、再接続先ノードとして送信する。このとき、保持する子の数が少ない方の子を選択し、同数の場合はランダムで選択する。上記の判定により、受け入れが拒否されなかった場合、新規ノードの参加を受け入れ、参加受け入れ可能メッセージを返信する。この際、もし自身が予備ノードを保持していたならば、予備ノードのノード情報も付加して送信する。

接続要求をしたノードは、受け入れ不可メッセージを受け取った場合、受け取った再接続先ノードに対し再び接続要求する。この処理を接続が受け入れられるまで繰り返す。また、受け入れ可能メッセージを受け取った場合、メッセージの送信元ノードを親として設定し、ネットワークに参加する。この際、親が予備ノードを保持していたならば、親の予備ノードに対し参加通知メッセージを送信する。参加通知メッセージを受け取ったノードは周辺ノード情報を更新する。さらに、もし子の中に予備ノードを保持していないノードが存在していた場合は、その子の情報を返信する。新規参加ノードは親の予備ノードからノード情報が返

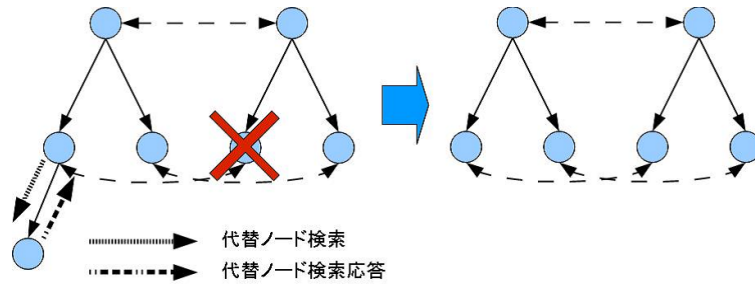


図4 提案手法によるネットワークの再構築
Fig.4 network reconstruction by proposal method

信された場合、受け取ったノード情報から予備ノードを設定し、設定した予備ノードに対し通知することで互いに予備経路として確保し合う。

3.2 leave アルゴリズム

ノード離脱時のネットワーク再構築の流れを図4に示す。ネットワークから離脱するノードは親、子、予備ノードに対して離脱メッセージを送信する。離脱メッセージを受け取った予備ノードは、自身もしくは離脱した予備ノードが子を保持していた場合、代替ノード受け入れ準備状態に移る。そして子ノードに対し、自身のノード情報を付加した代替ノード検索メッセージを送信する。代替ノード検索メッセージを受け取ったノードは、自身が子を1つも保持していない場合、代替ノード検索メッセージに付加された情報をもとに代替ノード応答メッセージを送る。もし子を保持していた場合、自身の子に対し、受け取った代替ノード検索メッセージをそのまま送信する。またそれとは別に、離脱したノードの子も、自身が子を1つも保持していない場合、親の予備ノードに対して代替ノード応答メッセージを送る。

代替ノード受け入れ準備状態であるノードは、はじめに代替ノード応答メッセージを送信してきたノードに対し、代替ノード決定メッセージと、周辺ノードのノード情報を送信する。代替ノード決定メッセージを受け取ったノードは、まず現在の親、予備ノードに対し離脱メッセージを送信する。その後、送信されてきたノード情報を元に新たな親、子、予備ノードを設定し、それらのノードに自身の情報を通知することでネットワークの再構築が完了する。

3.3 failure アルゴリズム

ALMはネットワークが維持されているかを確認するため、定期的に生存確認メッセージをやりとりする。生存確認メッセージは親、子、予備ノードに対して定期的に送信する。こ

の際、自身の保持する子、自身の予備ノード情報を同時に送信する。受け取った周辺ノードは生存を確認することに加え、自身が保持する周辺ノード情報も更新する。もし一定時間以上生存確認メッセージを受け取らなかった場合、そのノードは離脱したと判断する。離脱したと判断されたノードの予備ノードは、leave アルゴリズムにおける離脱メッセージを受け取った時と同様に代替ノード検索処理を行う。また親、予備ノードの両方が離脱したと判断される状態になった場合は、改めて join アルゴリズムを適用しソースノードに接続要求を行う。

4. 実験

4.1 実験のシナリオ

提案手法の動作を確認するため、ネットワークシミュレータ NS2 上でシミュレーションによる性能検証実験を行う。同時に、高木らの手法についても同じシナリオでシミュレーションし、提案手法との比較を行う。高木らの手法について、ソースノードの Max-degree は3とし、ソースノード以外の参加ノードの Max-degree は3から5までの値にランダムに設定したものを比較対象とする。

シチュエーションは、リアルタイムストリーミング配信での利用を想定する。初期ノードはソースノードのみの状態からスタートし、ソースノード以外のノードが参加離脱をしながらネットワークが構築されていく状況をシミュレーションする。

参加離脱に関して、コンテンツ配信開始直後は参加ノード数が増加傾向、配信終了直前は減少傾向、その他はランダムに参加離脱を繰り返すようなシナリオを生成し実験する。配信開始直後とはシミュレーションの開始から全イベント回数の2割を終えた時点までとし、コンテンツ配信終了直前とは全イベント回数の9割を終えた時点からシミュレーションの終了までとする。各状況で参加離脱は、表1の確率に従い、定期的にとどちらかを発生させる。また離脱の際は、ネットワークに参加しているソースノード以外の全ノードの中から、ランダムに選択されたノードを離脱させる。

最大参加ノード数 N は30を初期値に、以降300になるまで30ずつ増加させながら、それぞれの最大参加ノード数で実験を行う。また、全イベント回数の2割を終えた時点で、最大ノード数の9割のノードが、ネットワークに参加している事を期待できる確率になるよう参加離脱を行う。

実験では、以上の設定をもとに参加離脱の総イベント回数を決定し、その回数分参加および離脱を繰り返す。総イベント回数は以下の式で求める。

表 1 参加離脱の発生確率
Table 1 event probability of join or leave

現在のノードの状況	参加	離脱
参加ノード数が 0	100%	0%
参加ノード数が N	0%	100%
参加ノード数が増加傾向	80%	20%
参加ノード数が減少傾向	20%	80%
それ以外	50%	50%

$$\begin{aligned}
 & (\text{総イベント回数}) = (\text{最大ノード数 } N) \quad (1) \\
 & \times (\text{全イベント回数の 2 割を終えた時点で期待する } N \text{ に対する参加ノード数の割合}) \\
 & \times (\text{増加傾向時の 1 イベント発生ごとのノード数増加率}) \\
 & \times (\text{全イベント回数の 2 割時点まで回数から, 全イベントの回数を求めるための倍数}) \quad (2)
 \end{aligned}$$

上記の設定により生成したシナリオを, 各最大参加ノード数において 50 回ずつ生成, シミュレートし, それらの平均を結果として用いる.

4.2 評価項目

実験の評価は平均ツリー長, 最大ツリー長とする. 平均ツリー長は以下の式により求める.

$$(\text{平均ツリー長}) = \frac{\sum_{j=0}^{n-1} E(j)}{\sum_{j=0}^{n-1} F(j)} \quad (3)$$

ここで n は参加もしくは離脱のどちらかのイベントが発生した回数の合計, $E(j)$ は j 回目のイベントが発生した時の全参加ノードの深さの合計値, $F(j)$ は j 回目のイベントが発生したときの全参加ノード数である.

最大ツリー長は以下により求める.

$$(\text{最大ツリー長}) = \text{コンテンツ開始から終了まで最も長かったノードのツリー長} \quad (4)$$

以上 2 つの項目について, 各最大参加ノード数において 50 回実行し, その平均値により, 提案手法, 既存手法を比較する.

4.3 実験結果と考察

実験結果を図 5 に示す. 提案手法を高木らの手法と比較した場合, 平均ツリー長は長くなっている. これは提案手法における参加ノードの Max-degree が, 高木らの手法における参加ノードの Max-degree 以下であることが原因として考えられる. 対して, 提案手法の最大ツリー長は大幅に短くなっている. これはネットワークの再構築発生ごとのツリー長の変

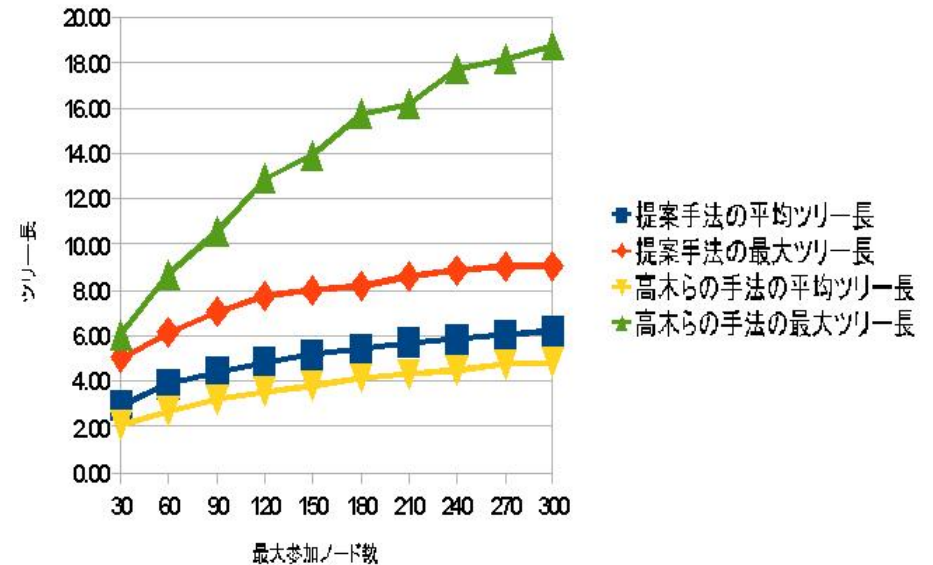


図 5 各手法のツリー長
Fig. 5 tree length of each method

化が原因であると考えられる. 高木らの手法では, 再構築の際に直線的に再構築するため, 再構築が発生する度にツリー長が長くなる可能性がある. それに対し提案手法では, 代替ノードを子ノードから検索し, 移動させてくるため, ツリー長が短くなることはあっても長くなることはないためであると考えられる.

続いて, 以上の実験結果から, 両手法のツリー長の増加率を最小 2 乗法を用いて求めたものを図 6 に示す. 両手法の平均ツリー長の増加率を比較した場合, 提案手法は高木らの手法と比べ 10% ツリー長が長くなっている. 対して最大ツリー長は, 提案手法では高木らの手法と比べ増加率がおよそ 70% 短くなっている.

5. まとめ

シミュレーションの結果, 提案手法により構築されるネットワークの平均ツリー長は, 高木らの手法により構築されるネットワークと比べ, 最大参加ノード数によらず長くなっている. そのため, 配信時の遅延は全体的に大きくなりやすいと言える. 対して, 提案手法の最

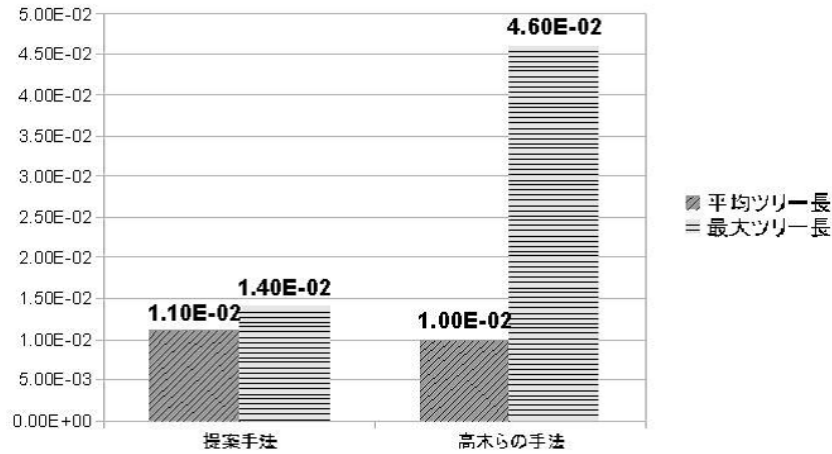


図6 両手法のツリー長の増加率
Fig.6 growth rate of tree length

大ツリー長に関しては、大幅に短くなっている。このことから、一部のノードに大幅な遅延が発生することや、ネットワーク再構築中の再生中断は発生しづらくなっている。よって、参加するノード数によらず、一部のノードに大幅な遅延や再生中断の発生を抑えることが出来ると言える。

また、両手法の平均ツリー長の増加率を比較した場合、およそ10%提案手法の方が長くなっていた。しかし最大ツリー長の増加率を比較すると、提案手法の増加率の方が70%ほど短くなっていた。そのため参加ノード数が増加した場合、全体的な遅延は提案手法の方が大きくなりやすいが、その反面、一部のノードの大幅な遅延や中断の発生率は大幅に抑えることができていると言える。

したがって、本提案手法は参加ノードの全体的な遅延は若干大きくなりやすいが、ノードの離脱が多く発生した場合でも、全てのノードは大幅な遅延や中断が発生することなく、配信を受け続けることができると言える。

なお、本研究は科学研究費(23656255)の助成を受けたものである。

参考文献

- 1) M.Yang,Z,Z. Fei : A proactive approach to reconstructing overlay multicast trees , In Proceedings of IEEE INFOCOM 2004, (2004).
- 2) 高木健士,北望,重野寛: オーバーレイネットワークにおける複数の予備経路を利用した経路再構築手法の検討, 情報処理研究報告, Vol.2007, No.58, pp.37-42 (2007).
- 3) 谷本勇太,太田義勝,鈴木秀智: 代替ノード検索を用いた ALM ツリー再構築手法, 全国大会講演論文集 第71回平成21年(3), pp.115-116 (2009).