

配信遅延を考慮した予備接続による ALM ツリー構築手法の検討

朝倉 浩介† 大関 和夫‡ 平川 豊‡

芝浦工業大学大学院 理工学研究科 電気電子情報工学専攻† 芝浦工業大学 工学部 情報工学科‡

1. 背景

近年、大容量コンテンツ配信サービスの需要が高まっており、インターネット上で映像や音声をライブ配信するライブストリーミングが盛んに行われている。しかし、ライブストリーミングは配信サーバやネットワークへ大きな負荷がかかるため、その配信方法が課題となっている。

ストリーミングの配信方法として ALM (Application Layer Multicast) が注目されている。ALM はライブストリーミングに参加しているユーザが、ツリー状の仮想ネットワークを形成しデータを送信する。ユーザ間のユニキャストのみを用いてマルチキャストを実現するため、従来のネットワークでの運用が可能である。しかし、ノードの離脱によってマルチキャストツリーの下流ノードの配信の中断が発生する問題がある。

本研究では、ノードの離脱の影響を受けたノードが予め登録していた予備の接続先へ再接続することでマルチキャストツリー配信の中断を防ぐ手法について議論を行う。

2. 既存研究

ノードの離脱に備えて予備の接続先を登録する手法として、Jeon らは予備ノード間の往復遅延時間(RTT)を利用し、ツリーを構成する手法が提案している[1]。この手法ではノードの参加時の接続先や、親が離脱した時の予備の接続先を決定するために、Potential Parent List (PPL) というリストを用いている。PPL は図 1 のようにツリーに参加している各ノードの ID とルートからの RTT の値で構成されている。PPL は以下の手順で利用される。

- ① ルートから PPL を受け取り、リスト内の全ノードとの RTT を計測する。
- ② PPL 内のノードの RTT と計測した RTT を加算する。
- ③ 加算した中で小さい値の RTT のノードへ参加要求や予備の接続先の登録をするメッセージを送信する。

ALM ツリーへの参加の際は Service、予備の接続先を決定する際は Backup の PPL をそれぞれ利用する。各ノードは帯域幅に応じて子ノードとの最大接続数(最大ポート数)が決定される。この手法では、子ノードを持つ時だけでなく、自分が予備の接続先として登録された時にもポートが専有される。

そのため、実際のサービスに利用されるポート数が少なくなり、ツリー全体の深さや配信の遅延が大きくなる問題がある。また、ツリー再構築後にツリーの形状が変化するため、図 2 のように予め登録していた予備の接続先が不適切なものになる時があるが、その対処が明確にされていない問題がある。

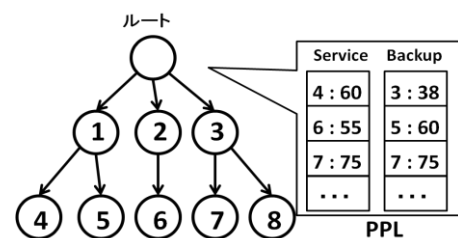


図 1. PPL の構造

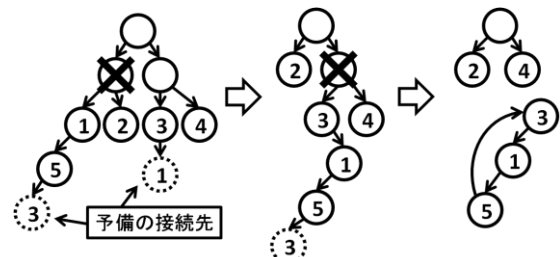


図 2. 不適切な予備接続の例

3. 提案手法

本研究では、複数のノードが同じポートを予備の接続先として重複登録することを許し、ツリー再構築後の予備の接続先の更新を明確にした ALM 構築手法を提案する。

3.1. 予備の接続先の重複

提案手法では、予備の接続先を決定する際、既に予備の接続先として選ばれているポートも候補とし、予備の接続先を決定する。図 3 のように、既存手法ではノード 2 と 4 の予備の接続先の登録に 2 つのポートを専有するが、提案手法では 1 つのポートに予備の接続先の登録を重複させる。

重複させる際、親ノードの離脱の影響を同時に受ける兄弟ノードは同じポートを予備の接続先としない制約を設ける。親ノードが離脱し、予備の接続先になっていたポートを利用してツリーに再参加した場合、同じポートを予備の接続先としていたノードに、予備の接続先を決め直すメッセージを送信する。

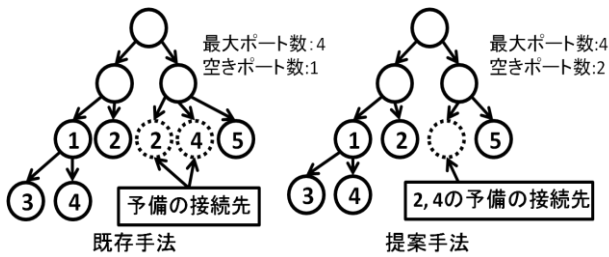


図3. 既存手法と提案手法

3.2. 予備の接続先の更新

ツリー再構築後の不適切な予備の接続先は更新に先祖リストを用いる。先祖リストはルートから親ノードまでの経路に存在するノードのリストであり、各ノードとPPL内に保持させる。

ノードの離脱が発生し、予備の接続先を利用して再参加したノードは、親ノードから先祖リストを受け取る。自身の先祖リストを更新し、子ノードへ自身の先祖リストを送るという手順を繰り返す。先祖リストを親ノードから受け取った時に、先祖リスト内に自身を予備の接続先としているノードがあった時、そのノードへ予備の接続先を変更するメッセージを送信する。また、PPLを利用し、予備の接続先を決定する時も先祖リストを利用し、自分の子孫や兄弟ノードへの接続を制限する。

3.3. 提案手法の改良

予備の接続先の重複登録を許すことによって、既存手法に比べ、ツリーの遅延時間についての改良が見込める。しかし、重複によりPPL内に格納されるノード数が増加することで、RTTを計測するためのメッセージ数が増加する問題がある。そこで、メッセージ数を削減する手法としてPPLを受け取った後、PPL内に格納されている全ノードとのRTTを計測するのではなく、計測する数に上限 n を設定する。これにより、最適な遅延時間が擬似的なものになるが、メッセージ数の削減を期待できる。

4. シミュレーション

表1 シミュレーション要件

使用シミュレータ	ns-2.34
ノード数	510 個
シミュレーション時間	1800 秒
ポート数	4
リンク遅延	5~100ms
トランスポートプロトコル	UDP

本研究ではネットワークシミュレータ NS-2[2]を用いて実験、評価を行った。既存手法、提案手法、RTT計測数を制限した改良手法（提案手法2）と、ツリーのホップ数を参加や予備の接続先の登録の指標にしたホップ数重視手法（RTT計測を行わない手法）についてそれぞれシミュレーションを行った。今回のシミュレーションでは、提案手法2のRTT計測数の上限 n を50とした。

使用ノード数は510、各ノードのポート数は4、シミュレーション時間は1800秒でランダムにノードの参加、離脱を行った。また、トポロジジェネレータGT-ITMを用いて実ネットワーク構成に近いトポロジを作成、利用した。

5. シミュレーション結果

シミュレーション結果を図4、5に示す。図4はマルチキャストツリーに参加している各ノードの平均遅延時間を示しており、図5はシミュレーション中の総制御メッセージ数を示している。

提案手法では既存手法に比べ、平均遅延時間を約10%削減することができたが、メッセージ数が大幅に増加してしまった。しかし、提案手法2においては平均遅延時間、制御メッセージ数ともに削減させることができた。これは、RTT計測数削減の効果である。

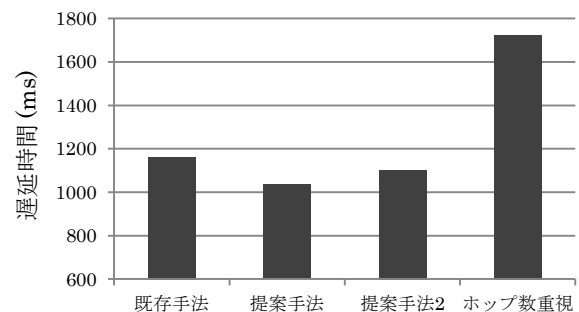


図4. 平均遅延時間

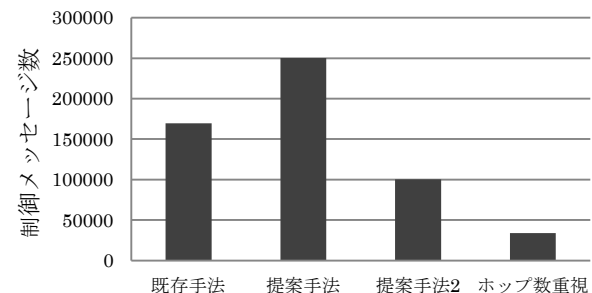


図5. 平均制御メッセージ数

6. 結論・今後の課題

本手法ではツリーの予備接続を重複させることでツリーの遅延を減少させるALM構築手法の提案を行った。結果として、既存手法に比べ配信遅延時間、制御メッセージ数の削減をすることができた。今後の課題として、実ネットワークに存在する、マルチキャストツリー内で子ノードを持たないノードへの対応や、総制御メッセージ数を削減する手法のさらなる検討が挙げられる。

参考文献

- [1] Jin-Han Jeon, Seung-chul Son, Ji-Seung Nam, "Overlay multicast tree recovery scheme using a proactive approach", Computer Communications vol.31, pp.3163-3168, 2008
- [2] The Network Simulator - ns-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>