

# P2P ストリーミング配信におけるピアの生存時間の統計的性質を利用したネットワーク構成方式

倉掛 護久 大坐 昌 智 川島 幸之助

東京農工大学

## 1. はじめに

アプリケーション層マルチキャストでは、各ノードが予期せぬダウンや障害によってオーバーレイネットワークからの離脱を起こすことが問題となる。離脱を起こしたノードが配信ツリー構造の中間に位置するノードならば、ツリーの再構成を行わねばならない。本稿では、アプリケーション層マルチキャストでのストリーミング配信を想定し、参加するノードの生存時間の統計的性質を利用したネットワーク構成方式を提案する。提案方式と既存の方式をシミュレーション実験により評価する。

## 2. ネットワーク再構成方式

### 2.1 再構成の動作

アプリケーション層マルチキャストとは、アプリケーション層において端末のノードのみでオーバーレイネットワークを構築する方法である。ツリーベースのアプリケーション層マルチキャストでは、オーバーレイネットワーク上のノードだけでマルチキャストツリー構造を形成し、中間ノードが上流のノード(親ノード)から流れてきたデータを複製して下流のノード(子ノード)に送信する。

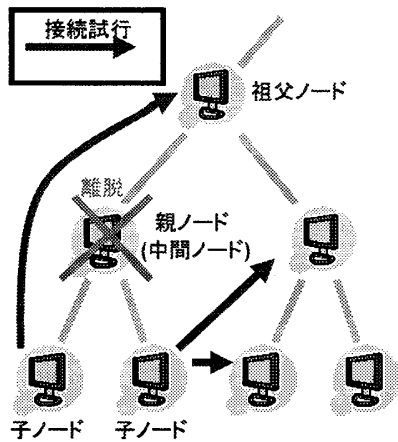


図1: ノード離脱時の再構成の動作

アプリケーション層マルチキャストを用いてP2Pストリーミング配信を行う場合、各ノードは予期せぬダウンや障害によって離脱することがあり、信頼性が低くなる。ツリーの中間に位置するノード(中間ノード)が離脱した場合、P2Pネットワークのマルチキャストツリーは中間ノードの子ノードのためにネットワークの再構成を行わなければならない。また、ネットワークを再構成しても再構成の間に途中の packets が抜け落ち、ストリーミングの再生ポイントが繋がらず途切れる可能性が高くなる。

A Network Configuration Method for Pure P2P Streaming Media Distribution using Statistical Characteristic of Peer Lifetime, Morihisa Kurakake, Satoshi Ohzahata, and Konosuke Kawashima,  
Tokyo University of Agriculture and Technology

中間ノード離脱時の子ノードの再構成方式としては、中間ノードの上流のノード(祖父ノード)に接続する動作を行う。これは子ノードのストリーミングの再生ポイントに最も近いノードであるからである。また、祖父ノードに接続できることによりパケットの抜け落ちを少なく抑えることが可能である。しかし、祖父ノードの隣接子ノード数(ノードが子ノードとして接続できるリンクの本数)に余裕がない場合には、祖父ノードの子ノード、すなわち、離脱した中間ノードの兄弟のノードに接続しようとする。兄弟のノードにも接続できない場合は、兄弟の子ノードに接続しようとする。この再構成方式を比較方式1と呼ぶ。

文献[1]では、受信ノードの隣接子ノード数を4本とした場合、3本の子ノードまでしか接続せず、再構成時に余っている隣接子ノードを使用する方式が提案されている。これにより再構成に必要な回復時間と制御オーバーヘッドを減少させる方式を提案している。この再構成方式を比較方式2と呼ぶ。

### 2.2 生存時間の統計的性質を利用した提案方式

ノードの生存時間は対数正規分布などの裾の長い分布を持つことが知られている[2]。生存時間が裾の長い分布にしたがうとき、長く生存したノードはより長く生存するという性質を持つ。本稿では、この生存時間の統計的性質を利用して、再構成時に子ノードが祖父ノードに接続できる確率が高くなる方式を提案する。

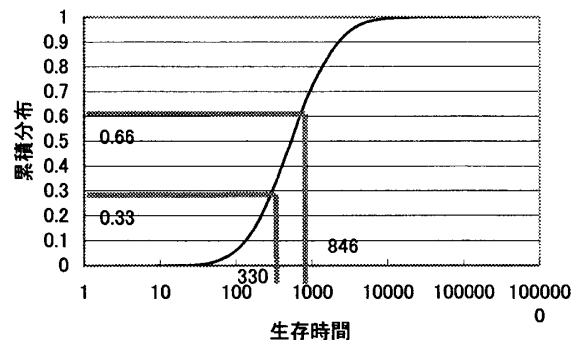


図2: 生存時間の累積分布

提案方式では対数正規分布の累積分布を利用してノードの隣接子ノード数を増加させる。例えば図2は平均5.19分、標準偏差1.44分[2]の対数正規分布の累積分布である。受信ノードの隣接子ノード数の上限を4としたとき、この累積分布を3等分して、ノードのシステムへの参加経過時間によって隣接子ノード数を増加させる。よって、参加経過時間が330秒未満ならば隣接子ノード数は2、330秒以上かつ846秒未満ならば隣接子ノード数は3、846秒以上ならば隣接子ノード数を4とする。また、隣接子ノード数が3以上の場合、隣接子ノードの2本のリンクはネットワーク構成と再構成時に使用する。残りのリンクはネットワー

ク再構成時のみ使用する。この方式によって、生存時間が長いノードの隣接子ノード数が増加し、祖父ノードに接続できる確率も高くなると期待される。また、祖父ノードに接続できる確率が高くなると、ノード離脱時に子ノードの新しい親が祖父ノードになるので、親候補のノードに接続を試行する回数を減らすことが可能である。

### 3. シミュレーション実験概要

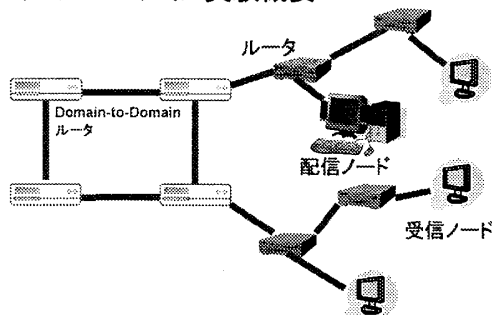


図 3:シミュレーションモデル

提案方式の評価を行うために、シミュレーション実験を行う。シミュレーション条件は表 1 のように設定した。

表 1:シミュレーション条件

シミュレーション時間	3 時間
Domain-to-Domain ルータ	4
ルータ	100
配信ノード	1
受信ノード	100~500
生存時間	平均 5.19 分, 標準偏差 1.44 分の対数正規分布
離脱時間	平均 30 分の指数分布

ネットワークシミュレータ ns-2[3]を使用し、IP ネットワークトポロジーの生成には GT-ITM[4]を使用した。シミュレーション時間は 30 時間とし、IP 層でのネットワークは、図 2 のように中心に 4 個の受信ノードを持たない Domain-to-Domain ルータを設置し、各 Domain-to-Domain ルータごとに 25 個のルータを接続する。このルータに受信ノードを接続する。受信ノードはシミュレーション時間内で参加と離脱を繰り返す。配信ノードは Domain-to-Domain ルータに接続するルータのどれか 1 つをランダムに選択して接続する。

### 4. シミュレーション結果

2.1 で述べた再構成方式である比較方式 1, 2 と提案方式について、平均接続試行回数と子ノードが祖父ノードに接続できる確率を比較する。平均接続試行回数とはノード離脱時に子ノードが新しい親ノードを探すために、祖父ノードや中間ノードの兄弟のノードに接続を試みた回数である。提案方式は 2.2 で述べたように対数正規分布を 3 分割して隣接子ノード数を増加させる。図 4 では 100~500 の受信ノードで参加と離脱を繰り返した場合の子ノードが祖父ノードに接続できる確率を表し、図 5 では 100~500 の受信ノードで参加と離脱を繰り返した時の平均接続試行回数を表している。

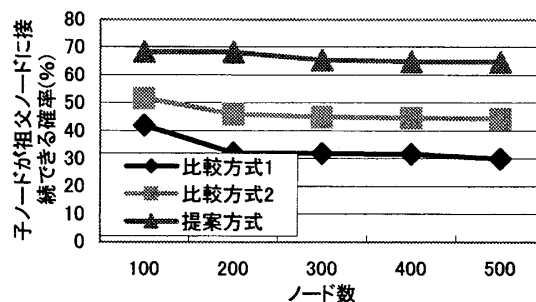


図 4: ノード離脱時の子ノードが祖父ノードに接続できる確率

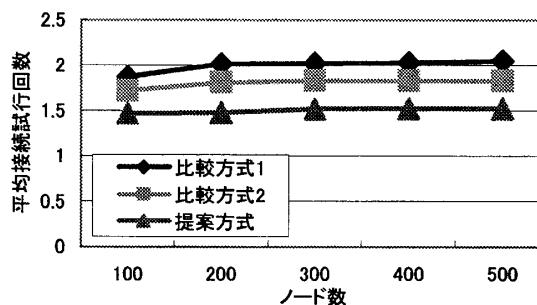


図 5: 平均接続試行回数

図 4 では提案方式がノード離脱時に子ノードが祖父ノードに接続できる確率が最も高くなっていることが分かる。図 5 では提案方式が最も平均接続試行回数が少ないことが分かる。このことから提案方式では、子ノードが祖父ノードに接続できる確率が最も高いので、新しい親を探す為に接続を試行する回数が少なくなる。

### 5. まとめ

本稿ではノードの生存時間の統計的性質を利用したネットワーク再構成方式について提案した。提案方式の特性をコンピュータシミュレーションにより、既存の方式と比較して品質を評価した。実験の結果、提案方式は比較方式 1 と 2 より、中間ノード離脱時に子ノードが祖父ノードに接続できる確率が高く、新しい親を探す為に接続を試行する回数が少ないため、ノードの頻繁な離脱に対応できることが分かった。今後、狭い上り帯域幅を持つノードがボトルネックにならないツリー構成方式を検討する予定である。

### 参考文献

- [1] Yohei Kunichika, Jiro Katto and Sakae Okubo, "Application Layer Multicast with Proactive Route Maintenance over Redundant Overlay Trees," LNCS 3333, pp. 306-313, 2004.
- [2] E.Veloso, V.Almeida, W.Meira, A.Bestavros, and S.Jin, "A Hierarchical Characterization of a Live Streaming Media Workload," Proc. ACM IMW'02, pp. 117-130, 2002.
- [3] ns-2, <http://www.isi.edu/>.
- [4] GT-ITM, <http://www.cc.gatech.edu/fac/Ellen.Zegura/graphs.html>.