

ツリー型 P2P システムにおける 3 種の再接続法の遅延時間評価

2009SE078 石黒 裕貴 2010SE146 中山 遼祐 2010SE230 竹内 秀幸

指導教員：河野 浩之

1 はじめに

近年、インターネットの高速化、普及によりコンテンツは多様化し、P2P を利用したサービスが次々と登場している。これら、P2P を用いられるネットワークは物理的な接続を表す物理ネットワークと、論理的な接続を表す論理ネットワークの 2 層から構成されている。

また、P2P ではネットワーク上で自由な接続を行えるため、ノード同士の接続の仕方によってそのシステムの性能が大きく変化してしまう。実際の P2P ネットワークではピアの離脱が発生し、結果としてトポロジの再構築が必要となる場合がある。

そこで、本研究ではツリー型のネットワークトポロジにおいてピアが参加、離脱した時の再接続の際、先行研究 [1] で使用されたピア選択法を用いることで、よりスケラビリティに優れたネットワークの再構築を行う。そこで現れる遅延時間の変化を比較し評価する。

本論文の構成は以下の通りである。2 章では P2P ネットワークの形態、離脱、先行研究との比較について述べる。3 章では提案された動的トポロジ法を述べる。4 章ではパラメータ設定、シミュレーション実験、離脱・再構築のシナリオについて述べる。5 章にて遅延時間の評価、比較について述べる。6 章ではまとめを述べる。

2 P2P ネットワーク

本章では、2.1 節で P2P の概要を、2.2 節で P2P のネットワーク形態、2.3 節でピアの離脱と遅延、2.4 節でツリー型の遅延時間の変化を述べる。

2.1 P2P の概要

P2P とはネットワークに接続されたコンピュータ同士が端末装置として対等の立場、機能で直接接続し、データを送受信する通信方式である。従来のクライアント・サーバ型と比べて、特定の端末にアクセスの集中がないため負荷分散ができ、スケラビリティに優れているというメリットがある。

2.2 ネットワーク形態

P2P ネットワークにおいて、すでに存在する下層ネットワークの物理構造の上位にあたる層において、仮想的に形成されたネットワークをオーバーレイ・ネットワークという。オーバーレイ・ネットワーク下位層を隠蔽して汎用性高めるとともに、下位層に新しい機能を追加する技術を指す。その形態を図 1 に示す。

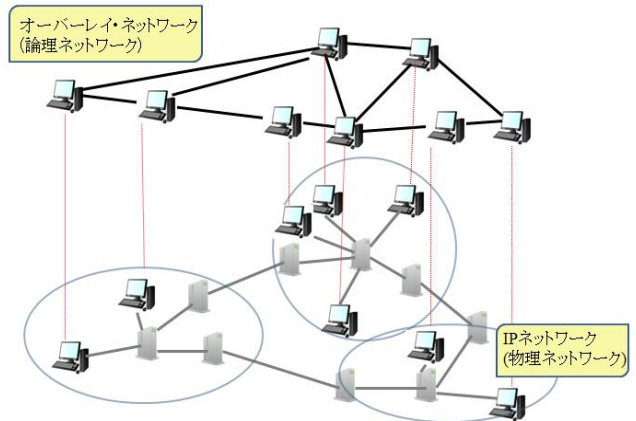


図 1 オーバーレイ・ネットワーク

また、P2P ネットワークにおいてツリー型のネットワークトポロジがある。

ツリー型とはネットワークの中心となるルートノードから枝分かれするように下位層へ繋がっていくトポロジである。末端のノードが故障しても他のノード間の通信には影響は受けませんが、上位層のノードが故障するとそのノードより下位層のノードが影響を受ける。

2.3 離脱と遅延

P2P ネットワークでピアがネットワークから外れることが離脱である。丸で囲んだピアの離脱から接続の切れたピアの再接続までの流れを図 2 に示す。

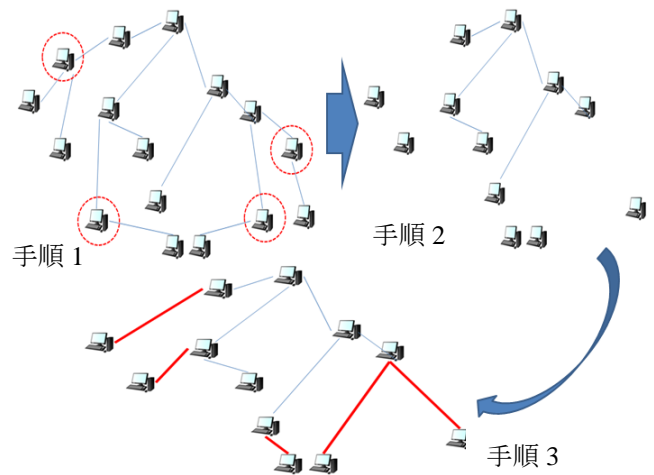


図 2 ピアの離脱と再構築

手順 1. P2P ネットワークが形成されている。

手順 2. 丸で囲んだノードが何らかの影響で離脱。

手順 3. 離脱の影響で通信が切れたノードを別の経路から接続。

2.4 ツリー型における遅延時間の変化

先行研究[1]では、ツリー型のネットワークトポロジにおいて動的トポロジ構築法を用いた離脱耐性評価が行われた。提案された論理ホップ最小化法、物理ホップ最小化法、ランダムピア選択法の3つのピア選択法を用いてシミュレーションを行い評価した結果、論理ホップ最小化法は有用性が高いことが示された。しかし、トポロジの再構築後の遅延時間については比較されていない。

本研究では先行研究[1]において提案された3つのピア選択法をツリー型のトポロジに適応させて、それぞれ再構築後の遅延時間の変化がどう現れるかシミュレーションを行い、評価していく。

3 動的トポロジ構築法

先行研究[1]において3つのピア選択法が提案された。ピア選択法とは、目的に合わせて優先的に選択するピアを変更した様々な提案のことである。

本章では3.1節で論理ホップ最小化法、3.2節で物理ホップ最小化法、3.3節でランダムピア選択法の3つのピア選択法について順に説明する。

3.1 論理ホップ最小化法

各ピア選択法について以下のことを定義し、3.1、3.2、3.3で用いる。

- ・配信の起点となるノードをルートノード。
- ・ネットワーク上にあるノードの集合を S 。
- ・供給可能なノードを j 、接続要求を行うノードを i とする。
- ・論理ネットワーク上でルートノードからのホップ数を論理ホップと呼び、 h_i とする。
- ・供給を行うノードをノード k 。

論理ホップ数に差がある複数のピアを供給ピアにしてしまうと、論理ホップの大きい親ピアに合わせて子ピアの論理ホップが決定されるため、接続できるピアの総数を減らしてしまう問題が発生する。そこで論理ホップ数の極力小さいピアから順番に供給ピアを選択していくことで、ネットワークに参加可能なピア数を増加させることを目的とする論理ホップ最小化法を提案する。また対象となる論理ホップ数のピアが複数存在する場合は、そのうちからランダムにピアを選択する。論理ホップ最小化法のアルゴリズムを以下に示す。また、そのフローチャートを図3に示す。

- (1) (S_a の作成): $j(m_j \geq 1$, かつ $h_j \leq h_i$ をみたすピア)を全て S_a の要素とする。
- (2) (S_b の作成): S_a に含まれるノードのうち、論理ホップ数が最小のノードを S_b の要素とし、そのようなノードを S_a から取り除く。
- (3) (ピアの選択): S_b に含まれるノードのうち、ランダムに

1つ選択する(ノード k と表す)そしてノード k を S_b から取り除く。

- (4) (手続きの終了): ノード i とノード k を接続し手続きを終了する。

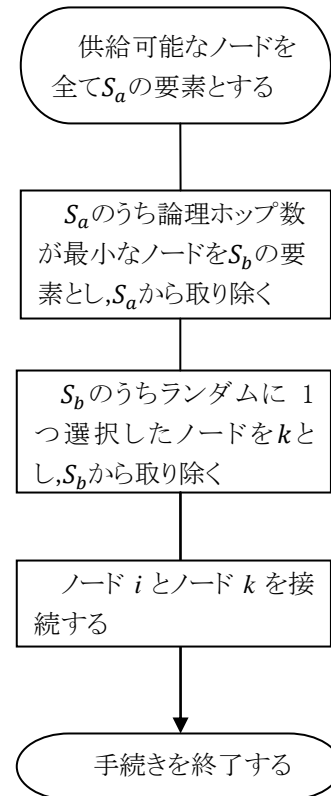


図3 論理ホップ最小化法のフローチャート

3.2 物理ホップ最小化法

論理ネットワーク上で自由にノード接続を行えることがP2Pの利点として挙げられるが、物理ネットワークを考慮しないピア選択では伝送に無駄が発生している場合がある。これによりネットワーク間のトラフィックの増加が起こり、遅延や動画品質の劣化を引き起こす原因にもなる。そこで、遅延時間の小さいピア同士を接続することで、ネットワーク間のトラフィックを低減させることを目的とする物理ホップ最小化法が提案された。また、物理ホップ最小化法のアルゴリズムを以下に示す。

論理ホップ最小化法のアルゴリズムに記述中の(2)における“論理ホップ数”を“ノード i からの遅延時間”に変更する。

3.3 ランダムピア選択法

接続ピアを供給可能なものの中からランダムに選択していく方式である。ランダムピア選択法のアルゴリズムを以下に示す。

- (1) (S_a の作成): 供給可能なノード $j(m_j \geq 1$, かつ $h_j \leq h_i$ を満たすピア)を全て S_a の要素とする。
- (2) (ピアの選択): S_a に含まれるノードのうち、ランダムに1つ選択する(ノード k と表す)そして選択したノード k を

S_a から取り除く.

- (3) (手続きの終了): ノード i とノード k を接続し手続きを終了する.

4 ピア離脱後の遅延時間評価

本研究ではネットワークシミュレータである NS-2 を用いてネットワーク構築を行い, シミュレーションを行った.

本章では, 4.1 節ではパラメータ設定, 4.2 節ではシミュレーション実験, 4.3 節で離脱・再構築のシナリオについて述べる.

4.1 パラメータ設定

シミュレーション実験を行うにあたり, 使用するパラメータの項目を表 1 に示す.

表 1 実装するパラメータ

要求数(N_i)	1
ピアの最大供給可能数(M_i)	2
ルータ	20
ピアの数	40
配信元	1
最大論理ホップ数(H)	7
ピアの離脱回数	8
ピアの参加回数	4

要求数を 1 にすることで接続するピアが論理ネットワーク上でのリンク数を 1 にする. ピアの最大供給可能数を 2 にすることで供給できるピアに接続できるピアを制限している. ルータ数 20, ピアの数 40 にすることで物理ネットワーク上ではノード数が 60, 論理ネットワーク上ではノード数が 40 とする. 配信元を 1 にすることでツリー型のトポロジにする. 最大論理ホップ数を 7 にすることでネットワークが広がり過ぎないように設定する. またピアの離脱回数を 8, ピアの参加回数を 4 に設定する.

4.2 シミュレーション実験

ピアが存在する場所はケンブリッジ大学, 南山大学, ハーバード大学であると仮定し, ケンブリッジ大学-南山大学間を 280ms, 南山大学-ハーバード大学間を 230ms とリンク間の遅延を大きくしてある. 使用する物理ネットワークのうち南山大学内の物理ネットワークを図 4 に示す.

また, 使用する論理ネットワークのうち南山大学内の論理ネットワークを図 5 に示す. 配信元である南山大学から, ケンブリッジ大学, ハーバード大学へとデータを送信し, その様子を観測する. 論理ネットワーク上に元から参加しているピア数を 36 とし, シミュレーション開始から 1 秒ごとに離脱と参加を繰り返し合計 12 回行った. 8 つのピアを離脱させることで離脱したピアの下位層に位置するピア

が接続要求を出すことになるのでそれぞれの手法を使用し, 論理ネットワーク上に接続していく. また, 観測するデータとは別にケンブリッジ大学-ハーバード大学間で送受信を行うデータが存在する.

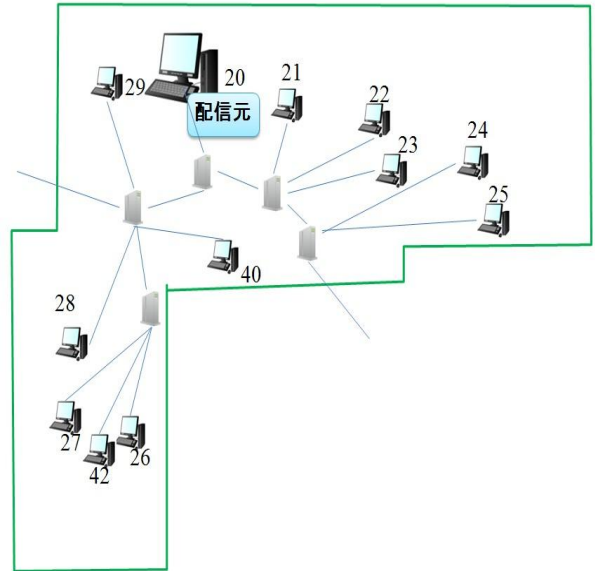


図 4 南山大学内の物理ネットワーク

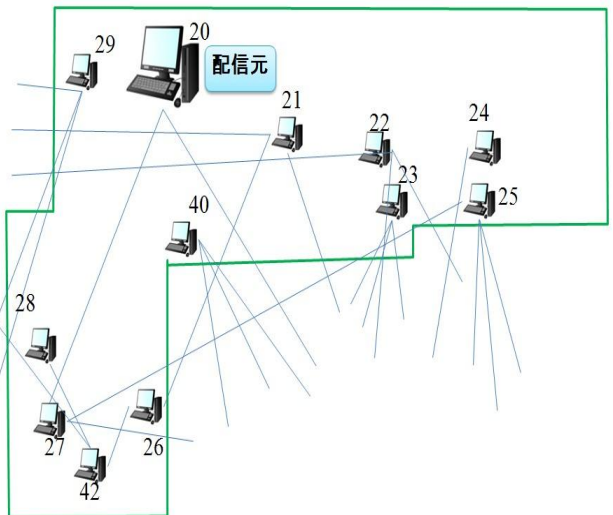


図 5 南山大学内の論理ネットワーク

4.3 離脱・再構築のシナリオ

本研究ではシミュレーション開始から 1 秒毎にランダムにピアを参加, 離脱させていく.

パケットを流すことや止めることでピアの参加, 離脱を行う. また離脱したピアの下位層に位置するピアは離脱した時間に再接続をする. シミュレーション時間は 12 秒とし, 離脱するピアはランダムに選択する.

接続を行うピアは 3 種の接続法によって接続ピアを決定する. また, どのピアが供給可能であるか接続要求を行うピアは把握しているものとする.

表 2 最下層ピアの平均遅延時間

	参加, 離脱前	物理ホップ最小化法	論理ホップ最小化法	ランダムピア選択法
3 秒後	1.02541[ms]	1.07753[ms]	1.12419[ms]	1.199852[ms]
6 秒後	1.02541[ms]	0.9982[ms]	1.07776[ms]	1.06924[ms]
9 秒後	1.02541[ms]	0.86894[ms]	1.17346[ms]	1.58247[ms]
12 秒後	1.02541[ms]	0.72175[ms]	1.17829[ms]	1.476429[ms]

離脱後の再構築のシナリオプログラムの一部を以下に示す.

```

$ns at 1.0 "$ftp 56 stop" //離脱ピアの ftp の停止
$ns at 1.0 "$ftp 15 stop"
set tcp64 [new Agent/TCP] //再接続ピアの tcp の設定
$ns attach-agent $n26 $tcp64
set sink64 [new Agent/TCPSink]
$ns attach-agent $n58 $sink64
$ns connect $tcp64 $sink64
set ftp66 [new Application/FTP] //ftp の設定
$ftp66 attach-agent $tcp66
$ns at 1.0 "$ftp 64 start" //ftp のスタート
    
```

5 遅延時間の評価, 比較

本章では 5.1 節で遅延評価, 5.2 節で各手法ごとの遅延時間を比較する.

5.1 遅延評価

以下ではピアが離脱した場合についてピア選択法による再接続が離脱する前後の伝送遅延の変化に与える影響を観測する. シミュレーションより得たトレースファイルの解析を行い, リンク間の平均遅延時間を算出する.

s をパケット受信時間, t をパケット送信時間, n を送受信回数として平均遅延時間を式で表すと次式になる.

$$\text{平均遅延時間} = \frac{(s_1 + s_2 + \dots + s_n) - (t_1 + t_2 + \dots + t_n)}{n}. \quad (1)$$

5.2 比較

論理ホップ最小化法, 物理ホップ最小化法, ランダムピア選択法を使用し, 各手法ごとに3秒ずつ最下層ピアの平均遅延時間の値を算出した. その値を表2, また縦軸を遅延時間(ms), 横軸を経過時間(s)としグラフ化したものを図6に示す. 図6は黒を参加, 離脱前, 赤を物理ホップ最小化法, 青を論理ホップ最小化法, 黄色をランダムピア選択法の順に並んでいる.

比較の結果, 物理ホップ最小化法が最も平均遅延時間を小さくすることができた. 論理ホップ最小化法は参加, 離脱が繰り返し行われても, ホップ数に偏りのないトポロジを形成することができた. しかし今回のようにリンク間の遅延に大きな差がある場合, 物理網を考慮しないため伝送に無駄がある場合があった. ランダムピア選択法は, リンク間の遅延が大きなリンクを伝送路として使用するピアを選択した場合, 伝送に無駄がある場合があった. 一方, 物理ホップ最小化法ではリンク間の遅延を最優先に考慮し接続を行うため, 参加, 離脱を繰り返すごとに最下層ピアの平均遅延時間が減少していく傾向が見られた.

図6は最下層ピアの平均遅延時間を示す棒グラフである。横軸は経過時間（3秒後、6秒後、9秒後、12秒後）を示し、縦軸は遅延時間（ms）を示している。各経過時間ごとに4つの棒があり、黒（参加、離脱前）、赤（物理ホップ最小化法）、青（論理ホップ最小化法）、黄（ランダムピア選択法）の順に並んでいる。物理ホップ最小化法（赤）は常に最も低い遅延時間を示し、ランダムピア選択法（黄）は最も高い遅延時間を示している。経過時間が進むにつれて、物理ホップ最小化法の遅延時間はさらに減少しているのに対し、ランダムピア選択法の遅延時間は増加している。

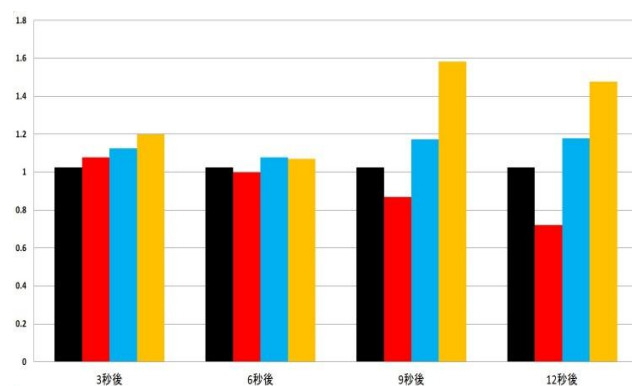


図 6 最下層ピアの平均遅延時間

6 まとめ

本研究では, スケーラビリティに優れたトポロジ構築のために, ピアの参加, 離脱の際の接続法について3種類のピア選択法を使用し遅延時間を比較評価した.

結果, 物理ホップ最小化法が最も平均遅延時間を小さくすることが出来た. しかし, ピアが離脱・参加を繰り返してトポロジの再構築を行うことによって末端のピアまでの論理ホップ数にばらつきができ, 効率の悪いトポロジになることがある. そこで定期的にピア間の接続をリセットし, つなぎ直してトポロジの整理を行う必要がある. また, 論理ホップ最小化法と物理ホップ最小化法を組み合わせ, 各手法の利点を取り入れた接続法を提案することを検討していきたい.

参考文献

- [1] 石井智之, 井家敦, “スケーラビリティを考慮した P2P ストリーミングにおける動的トポロジ構築法,” 電子情報通信学会, NS2010-58, pp.61-62, (2010).
- [2] Eyuphan B. and Boleslaw K. S. , “Constructing Limited Scale-Free Topologies Over Peer-to-Peer Networks”, Parallel and Systems, pp.2-3, (2013).