

P2P ストリーミングのためのルーティングの提案とシミュレーション

2002MT029 片岡 佑

2002MT045 南川 陽平

2002MT057 中島 拓実

指導教員 後藤 邦夫

1 はじめに

現在、コンピュータ性能、ネットワーク回線の向上によりデジタルコンテンツ技術が注目されている。その中でもストリーミング形式によるコンテンツ配信が増加している。今までのストリーム配信はクライアントサーバ形式を用いているので、大規模サーバと高負荷に耐えるネットワークが必要であった。そのため、一般のユーザがデジタルコンテンツを配信することは困難であった。

P2P 技術の発達により PeerCast[1], ShareCast[2] などが開発され、誰でも配信者となる P2P ストリーミングが実現されている。P2P ストリーミングでは、各ノードがストリームデータを受信すると同時にデータを複製し、下流のノードにデータを受け渡す方法を用いる。しかし、P2P ストリーミングではストリームデータを中継しているノードが接続を中断した場合、その下流のノードへのストリーミングが中断されてしまう。すると、再接続するための時間を要し、その間ストリームデータが受け取れない問題がある。

本研究では、ノード間の通信の安定性に着目したルーティング方式を考案し、ルーティングシミュレーション実験で既存の P2P ルーティング方式とネットワークの安定性、ストリームデータの中継回数について比較評価する。ルーティングにおける上流ノードの決定方法を考案し、仮定したインターネット利用モデルに対してルーティングシミュレーションを行い、本研究のルーティング方式の性能を明らかにする。

本研究により、P2P ネットワークの信頼性が向上し、下位のノードでも確実にストリーミングを続けることができる環境の構築が期待できる。

中島は主にルーティング方式の考案とルーティングシミュレーションを担当した。片岡は主にルーティングシミュレーションを担当し、南川は主にプログラム作成を担当した。

2 既存の P2P ルーティング方式

現在用いられている P2P ストリーミングシステムでは、木構造アーキテクチャを用いたルーティング方式が主流である。

P2P ストリーミングでは、1つのノードに接続できる数に上限がある。上限値までノードが接続した状態を飽和状態と呼ぶ。

2.1 ノード間の距離に着目したルーティング方式

現在、一般に普及している PeerCast や、ShareCast の P2P ストリーミングシステムでは上流ノードを新規ノ

ードから参加中ノードまでの hop 数でノード間のネットワーク距離を割りだし、一番近い位置にいるノードを選んでいる (図 1)。

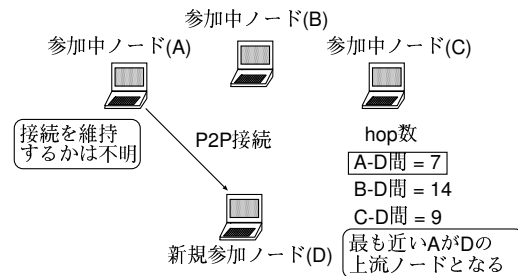


図 1 hop 数による上流ノードの選択

この方式ではネットワーク距離のみに着目し上流ノードを決定するため、そのノードがストリーム通信を維持するかは不明である。上流ノードがストリーミングから離脱した場合、下流ノードは再び上流ノードを探索することになる。このためネットワーク全体にトラフィックが増大してしまう。

2.2 ノード間の接続を考慮したルーティング方式

今までに提案されているルーティング方式の中に、ノード間の接続に着目したルーティングとして各ノードが他ノードとの接続を維持するかどうかをストリーミング参加時に自己申告させるもの [3] がある。

- 常時参加ノード：ストリーミング終了まで接続を維持すると申告したノード
- 一時参加ノード：接続を維持すると申告しなかったノード

このようにノードを2種類に分別する。常時参加ノードには下流ノードに常時参加ノードを1つは接続するようにし、一時参加ノードには下流ノードを1つだけ接続する。

ルーティングモデルを図2に示す。常時参加ノードには複数の下流ノードが接続されている。一方、一時参加ノードは途中でストリーミングから離脱する可能性があるため下流ノードは1つだけとなっている。この方式では一時参加ノードの下に常時参加ノードが接続されることがある。この場合、上流ノードが離脱すると、下流の複数のノードがストリームデータを受け取れなくなる。また、客観的にそのノードが信頼できるかどうか不明である。また、この手法ではネットワーク距離は考慮されておらず、遠くはなれたノード同士の接続が多くなる。

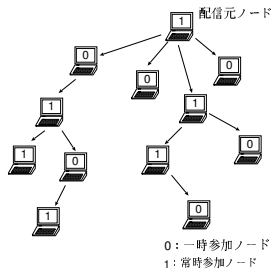


図2 申告制によるルーティング

3 提案ルーティング方式

前述した既存の P2P ストリーミングにおけるルーティング方式の問題点を解決するために、我々が考案した方式について説明する。

3.1 ルーティングモデル

本研究ではノードがどの程度 P2P 接続を維持すると期待できるかを過去の接続経歴からノード信頼度 (以下信頼度) として表現する。上流ノード決定のさい、新規参加ノードは信頼度とホップ数、帯域などのノード情報と組み合わせそれぞれのノード優先度 (以下優先度) を算出する。既存のルーティング方式では上流ノードを1つだけ決定する。この方式だと、もしその上流ノードがストリーミングを中断した場合、別の上流ノードを新たに探しだす必要がある。そのために上流ノードの再検索に時間がかかり、その間ストリームデータを受け取ることが出来ない。そこで本研究では実際にストリームデータを受け取る主上流ノードと、主上流ノードがストリーミングから離脱した場合に、次に接続する副上流ノードを選ぶ。優先度の1番高いノードを主上流ノード、次に高いノードを副上流ノードとし、2つの上流ノードを決定する。

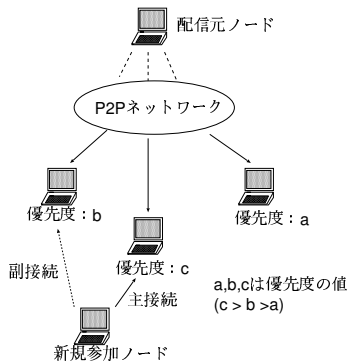


図3 ルーティングモデル

図3は我々が提案するルーティング方式のモデル図である。各ノードは後述するノード情報と信頼度を保有する。新規参加ノードは参加中のノードに問い合わせ、これらの情報を取得し、各ノードのノード優先度を算出す

る。そして優先度の高い順に主上流ノード、副上流ノードとして決定し、主上流ノードからストリームデータを受け取りストリーミングに参加する。もし、主上流ノードがストリーミングを中断した場合、あらかじめ選出しておいた副上流ノードが新たに主上流ノードとなり、ストリーミングを再開する。同時に再び各ノードのノード優先度の計算を行い、次の副上流ノードを決定する。

3.2 上流ノードの決定方法

提案するルーティング手法で使用する各ノードにおけるパラメータを定義する。

- ノード信頼度 (reliability): 各ノードがどの程度ストリーミング接続を維持すると期待できるかを示すもので1-10の整数値で示す。
- 帯域 (band): 下流ノードへの P2P ストリーミングに利用可能な帯域幅 (Mbps)。
- 主下流ノード数 (main): そのノードを主上流ノードとして選択した下流ノードの数。
- 副下流ノード数 (sub): そのノードを副上流ノードとして選択した下流ノードの数
- IPhop: 配信元からの IPhop 数
- P2Phop: 配信元からのストリームデータの P2P 中継回数

これらの値と自分のノード ID, IP アドレスを含めたものをノード情報とし、参加中ノードは新規ノードから問い合わせがあった場合、ping を返すと同時に新規参加ノードに教える。

次に考案した式を以下に示す。

$$\text{新規参加ノードの信頼度} \leq \text{参加中ノードの信頼度} \quad (1)$$

$$\text{主下流ノード数} + \text{副下流ノード数} \leq N \quad (2)$$

$$P2Phop \leq H \quad (3)$$

H, N はそれぞれの制限値である。まず、(1) から (3) 式を満たすノードだけを上流ノード候補に限定する。

(1) 式で参加中ノードと新規参加ノードの信頼度の比較を行う。自分以上のノード信頼度の値を持つノードを上流ノードに選ぶことにより、構築する木構造にて信頼度が下流ノードより上流ノードの方が高いネットワークを構築する。

(2) 式は1つの上流ノードに接続する下流ノード数を制限する。1つのノードに接続が集中し、そのノードに負荷が掛かかってしまうのを防ぐ。

また、P2P ストリーミングでは各ノードでストリームデータを複製し、下流ノードへと渡す。すると、中継回数が増える度に画像の劣化が生じてしまう。よって (3) 式で P2P による画像データの中継回数を制限する。

$$x = \frac{\text{reliability}}{10} \quad (4)$$

$$y = \frac{\text{band} - s_band \times (\text{main} + \text{sub})}{\text{band}} \quad (5)$$

$$z = \frac{IPhop}{8 \times m} (m = 1, 2, \dots, 8) \quad (6)$$

$$Priority = a \times x + b \times y - c \times z \quad (7)$$

各上流ノード候補について式(4)から(7)で優先度を計算し、優先度最大のノードを主上流ノード、次を副上流ノードとする。xは信頼度、yは残り利用可能帯域、zは配信元からの距離を示す。(7)式はx、y、zの重みつき平均である。

(6)式においてノード間のホップ数に着目する。ノード情報からでは参加中ノードと配信元ノードの間のホップ数は知ることが出来るが、配信元ノードから新規参加ノードまでのホップ数は得ることができない。そこで、IPpingに格納されるIPTTLを用いてこの値を求める(8式)。

一般のOSでのdefault TTL値は64を用いている場合が多いので本研究でも64と定める。この値から参加中ノードでのIPTTL値を引くことで新規参加ノードから参加中ノードまでのIPhop数(I)を知ることが出来る。

$$I = 64 - \text{参加中ノードでのIPTTL} \quad (8)$$

次に、ノード情報にある配信元から参加中ノードまでのIP-hop数を足せば、配信元ノードから新規参加ノードまでのIPhop数を得る(9式)

$$\text{配信元ノードからのIPhop数} = I + IPhop \quad (9)$$

最後に、集めたノードの中からもっとも遠いノードまでのIPhopを8で割った商をmに代入する。

4 シミュレーション実験

第3節で述べたルーティング方式を用いた場合と、既存方式を用いた場合のP2Pストリーミングについてルーティングシミュレーションを行う。

4.1 インターネット上のP2Pネットワークモデル

IPネットワークモデルを複数パターン考案し、前述したルーティング方式に基づきP2Pルーティングシミュレーションを行う。P2Pストリーミングは同一ISP内では各ノードにの上流ノードのみ着目すればよいが、複数ISP間での通信ではIXに負担がかかり、ネットワーク全体に影響が及ぶ。そこで単一ISP内、2ISP間の2通りの利用モデルについてノード配置とパラメータを与え、シミュレーション実験を行う。

4.2 ネットワーク評価方法

構成されたP2Pネットワークの性能を示すため、ネットワークの信頼性、P2P中継回数、IPhop数について評価する。

$$\text{平均P2P中継回数} = \frac{\sum_{i=1}^M \text{ノード}i \text{のP2Phop}}{M-1} \quad (10)$$

$$\text{平均IPhop数} = \frac{\sum_{i=1}^M \text{各ノード}i \text{のIPhop}}{M-1} \quad (11)$$

$$T = \prod_{j \in U \text{ 上流ノード}} \frac{\text{上流ノード}j \text{の信頼度}}{10} \quad (12)$$

(10),(11)式でIPhop、P2Phopについて平均を求め、(12)式は構成されたネットワークで最下層ノードがストリームデータを受信し続けることができる期待度を信頼性指数(T)で示す。最下層ノードから配信元ノードまでのリンクをたどり、各上流ノードの信頼度の値を10で割ったものを掛け合わせる。本研究で提案する方式では主上流ノードと副上流ノードが存在するので、両方の値を足しあわせたもの(最大値10)を用いる。構成されたネットワークの最下層のノードについてそれぞれ計算し、最小のものをそのネットワークの信頼性指数とする。

5 実験結果と考察

シミュレーション実験の結果と考察を述べる。

5.1 単一ISP内でのストリーミング

既存方式、考案方式によって得たP2Pネットワークの図を示す。図4、図5は、ストリーミングに必要な帯域0.3Mbps、N=4、H=5のときに構成されたP2Pネットワークである。なお、ノード内の数字はそれぞれの信頼度である。

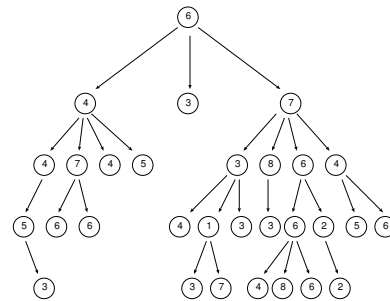


図4 既存方式により構成されたP2Pネットワーク(単一ISP内)

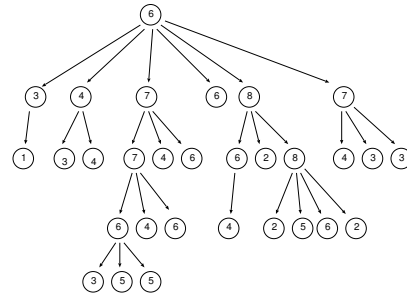


図5 提案方式により構成されたP2Pネットワーク(単一ISP内)

本研究で提案した方式では信頼度が高いノードが上流に配置された。よって既存方式より上流ノードが離脱する可能性が低くなり、上流ノードの変更が少なくなる。これにより、新たに上流ノードを探索する回数が減り、そのさい発生するP2Ppingの数を抑えることができ、ネッ

トワーク全体へのトラフィックが減少すると考える。

表1 性能比較 (単一 ISP 内)

	N = 3		N = 4	
	既存	提案	既存	提案
信頼性指数	0.018	0.54	0.0126	0.576
最大 P2P 中継回数	4	4	4	4
平均 P2P 中継回数	2.83	1.93	2.76	2.28
最大 IPhop 数	11	14	11	14
平均 IPhop 数	7.45	7.31	7.03	7.93
	N = 5			
信頼性指数	0.0123		0.5832	
最大 P2P 中継回数	4		4	
平均 P2P 中継回数	2.76		2.28	
最大 IPhop 数	10		14	
平均 IPhop 数	6.87		7.59	

既存方式, 提案方式について, 1つのノードに接続できる下流ノードの数 (N) を変化させ, 信頼性指数, P2P 中継回数, IPhop 数がどのように変化するかを調べた (表1). 信頼性指数について既存方式と提案方式を比較すると, 提案した方式の方が高い信頼性を得ることができた. また P2P 中継回数においても最大中継回数は同数であるが, 平均値を比較すると, 既存方式より, 少ない回数で最下層のノードにデータを送ることが可能となった.

5.2 2 ISP 間でのストリーミング

提案方式について, N = 4, H = 5 に固定し, ix の値を変化させ P2P ルーティングシミュレーションを行い, 信頼性指数, IPhop 数, P2P 中継回数を調べた (表2)

IX で P2P ストリーミングに利用できる帯域幅を IX とする.

表2 性能比較 (2 ISP 間)

	IX = 1.0Mbps	ix = 2.0Mbps
信頼性指数	0.504	0.56
最大 P2P 中継回数	5	4
平均 P2P 中継回数	2.45	2.28
最大 IPhop 数	14	13
平均 IPhop 数	6.83	7.02
IX 通過回数	3	6
	ix = 3.0	
信頼性指数	0.63	
最大 P2P 中継回数	4	
平均 P2P 中継回数	2.17	
最大 IPhop 数	13	
平均 IPhop 数	7.57	
IX 通過回数	8	

結果より, IX で利用できる帯域幅を大きくすると, 信頼性指数が増加していることが分かる. P2P 中継回数

については, ix の値が増えるとともに平均回数が減少する結果を得た. IPhop 数は ix の値が増えるとも多くなる結果となった. 他 ISP 内の優先度の高いノードを上流ノードとして選ぶとネットワーク距離が離れている場合が多いからである. これらから本研究で考案した方式では, IX で利用できる P2P ストリーミングの帯域幅を多く確保できればより信頼性が高く, 動画品質の高いストリーム配信が可能だと考える.

6 おわりに

本研究では, ノード間の接続の安定性を目的とした P2P ストリーミングにおけるルーティング方式を提案した. 各ノードに信頼度を設定し, 他のノード情報と組み合わせ, 優先度を算出し, 離脱の可能性が低いノードを上流ノードに選ぶようにした.

ルーティング方式の提案をし, シミュレーション実験をした結果, 既存の方式に比べ次のような結果を得た.

- ノード間の接続の安定性の向上
- ネットワーク全体へのトラフィックの軽減
- P2P 中継回数の縮小
- 上流ノード離脱時の処理の短縮

信頼度の高いノードを上流ノードとして選ぶことにより, 従来の方式より上流ノードが離脱する可能性が低くなり, P2P ネットワークの安定性が向上した. よって上流ノードの離脱回数も減少し, 上流ノード離脱のさい生じるノード探索のための ping の数が減り, ネットワーク全体へのトラフィックが軽減された. また, P2P 中継回数が減ることにより, 動画品質の劣化を抑えることができ, 品質の高い動画の P2P ストリーミングが可能となった.

本研究ではルーティング実験のみに留まったが, ストリーミング途中でノードの離脱が起きた場合の主上流ノードの切替え, ストリームの開始, 終了といった定常状態以外の状況についてはシミュレーション実験にて動作を確認する必要がある. 主上流ノードの切替えによって発生する P2Pping によるトラフィックの測定, P2P ネットワークにおけるスループットの測定が必要である.

参考文献

- [1] PeerCast : <http://www.peercast.org/>. (accessed 2005.3)
- [2] ShareCast : <http://www.scast.tv/scast/>. (accessed 2005.3)
- [3] 藤崎 貴章, 川島 幸之助: ピアの離脱を考慮した P2P 型ストリーム配信のネットワーク構成, 電子情報通信学会技術研究報告, NS2003-11. pp5-8(2003)