

物理網構成を考慮したハイブリッド型 P2P 動画像ストリーミング配信機構

A Hybrid Video Streaming Scheme on Hierarchical P2P Networks

末次信介¹
Shinsuke Suetsugu

若宮直紀¹
Naoki Wakamiya

村田正幸¹
Masayuki Murata

小西弘一²
Koichi Konishi

谷口邦弘²
Kunihiro Taniguchi

大阪大学 大学院情報科学研究科¹
Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University
NEC インターネットシステム研究所²
Internet Systems Research Labs., NEC Corporation

1 はじめに

アクセス回線の高速化, パーソナルコンピュータの高性能化を背景に, P2P 通信技術を用いたアプリケーションレベルのマルチキャストによる動画像ストリーミング配信が注目され, [1, 2] など多くの研究が行われている. これらの研究では, 遅延や帯域を測定することで物理網の構成や特性にあったマルチキャストツリーを構築するが, 十分な精度の測定結果を得るためには, 長時間の観測が必要であるなどの問題がある. そこで, 本稿では, 企業や大学のネットワークのように, 例えば支社や部署, 学部や学科などといった組織構成にもとづいて物理的な階層的構造を持つネットワークを対象に, 迅速に動画像配信のためのマルチキャストツリー (以降では配信ツリーと呼ぶ) を構築し, 多数のユーザに途切れのない動画像ストリーミング配信を提供する機構を提案する. このような比較的安定した, またその構成情報を事前に, かつ容易に取得可能なネットワークを対象とすることで, 容易に適切な配信ツリーが構築できる.

提案機構は, ユーザの動画像データの受信スケジュールを管理するスケジュール管理サーバ, 配信ツリーの構築・管理を行う配信ツリー管理サーバ, および動画像データを配信する動画像ストリーミング配信サーバの 3 つのサーバを有し, 受信スケジュール決定アルゴリズム, 配信ツリー構築機構, さらに, 障害が発生したときに配信ツリーの再構築を行う障害回復機構によって動画像ストリーミング配信を行う.

2 ハイブリッド型 P2P 動画像配信機構

本章では, 提案するハイブリッド型 P2P 動画像ストリーミング配信機構について, その概要と詳細を述べる.

2.1 提案機構の概要

動画像ストリーミング配信サーバ (ORG; Origin Server) からは, ピラミッドブロードキャスト [3] にもとづいて, 図 1 のように, 長さが公比 α の等比数列となるようにセグメントに分割された動画像データが, セグメントごとに異なるチャネルを用いて符号化レート b の α 倍の転送速度で繰り返し配信される. セグメントの配信の繰り返しをスロットと呼ぶ.

動画像を視聴したいピアはまず, それぞれのセグメントをどのスロットで受信するかを知るため, スケジュー

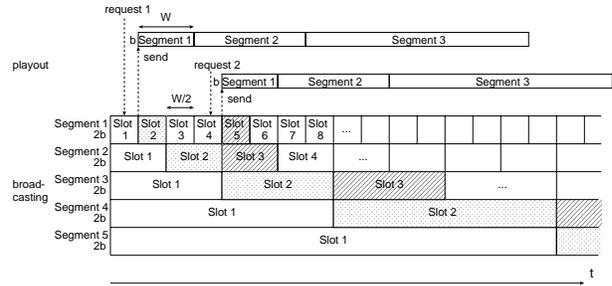


図 1 セグメント受信スケジュールの決定 ($\alpha = 2$)

ル管理サーバ (SS; Schedule Server) にスケジュール決定要求を送信する. SS は, 例えば request 1 のタイミングで要求を送信したピアには, 再生の途切れのない動画像配信のため, 図の網掛けで示されたスロットでセグメントを受信するよう通知する.

配信ツリーは, スロット, セグメントごとに構築される. ピアは, スロットの開始にあわせて, 配信ツリー管理サーバ (GTS; Global Tree Server) に参加要求を送信するなどして, セグメントの配信ツリーに順に参加する.

配信ツリーの構築中やセグメントの配信中にルータやリンクの故障やピアの離脱が発生すると, ピアは自律的に配信ツリーを再構築し, 迅速に障害から回復する.

2.2 セグメント受信スケジュール決定アルゴリズム

ピラミッドブロードキャストでは, ピアの要求に対し, 同時に高々 1 つのセグメントを受信するよう, セグメントごとに最も近い時間に配信が開始されるスロットが順に割り当てられる. 提案機構では, 配信ツリー構築のための時間を考慮し, 第 1 セグメントのそれぞれのスロットに対し, その開始から $W/2 + C$ 秒前から C 秒前までの要求受付時間を定める. W は第 1 セグメントの再生時間であり, C を要求受付予備時間と呼ぶ.

なお, 提案機構では, 配信参加直後に多くの動画像データを受信することでバッファ枯渇による動画再生の途切れを防ぐため, 例えば図 1 の request 2 のタイミングで要求を送信したピアには, 斜線で示すように第 1, 第 2 セグメントを同時に受信するよう指示する.

2.3 配信ツリー構築機構

提案機構では, 配信ツリーは同じスロットで同じセグメントを受信するピアにより, 図 2 のように拠点間のツ

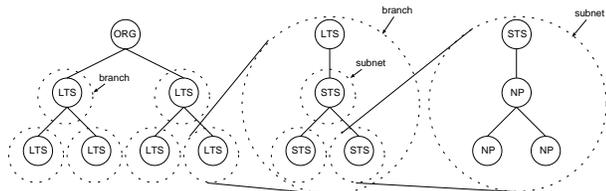


図 2 配信ツリーの階層化

リー、拠点内のサブネット間のツリー、およびサブネット内のツリーに階層化される。拠点間のツリーは、ORG を根とし、拠点内で選ばれた拠点代表 (LTS と呼ぶ) によって構成され、同様にサブネット間のツリーは、LTS を根とし、サブネットごとのサブネット代表 (STS) によって構成される。サブネット内では、STS を根とした普通のピア (NP) 間のツリーが構成される。ORG, LTS, STS, NP はいずれも、接続可能な子の数に制限を持つ。これをファンアウト数と呼ぶ。

ピアは、SS から受信したスケジュールにもとづいて、GTS に配信ツリーへの参加要求を送信する。GTS は、セグメント、スロットごとに、LTS, STS の情報を管理しており、ピアの属する拠点またはサブネットに代表がいなければ、ピアを LTS または STS に任命する。LTS, STS でないピアは NP となる。また、GTS は、ピアが LTS であれば ORG を、STS であればその拠点の LTS を、NP であればそのサブネットの STS を仮親としてピアに通知する。なお、GTS は配信ツリーのトポロジに関する情報は持たない。

ピアは仮親へ接続要求を送信することで配信ツリーに参加するが、仮親が既にファンアウト数と同じだけの子を持っていた場合は、新たな仮親として、その子が紹介される。ピアは、紹介された仮親を、祖先リストとして記録する。なお、第 2 セグメント以降については、その前のセグメントの配信ツリーで LTS または STS であったピアは GTS に配信ツリー参加要求を、NP であったピアは、GTS の負荷軽減を図るため、前の配信ツリーで STS であったピアを仮親とし、そのピアに接続要求を送信する。なお、先に STS であったピアが NP となった場合にはその通知を受け、あらためて GTS に配信ツリー参加要求を送信する。

2.4 障害回復機構

配信ツリーの構築中やセグメントの受信中に、ネットワーク機器の故障やピアの離脱が原因で仮親または親にアクセスできなくなったピアは、自らの祖先リストを参照し、祖父母のピアに接続要求を送信することで、配信ツリーへ参加し直す。祖父母にアクセスできない場合には、そのピアを祖先リストから取り除き、さらにその親へと祖先を遡るが、祖先リストが空になった場合には、GTS へ配信ツリー参加要求を送信する。新たな親に接続すると、障害発生時の続きから動画データを受信する。

3 シミュレーション評価

シミュレーションにおいては、拠点数、各拠点のサブネット数は 5 とし、ピアの所属するサブネットをランダ

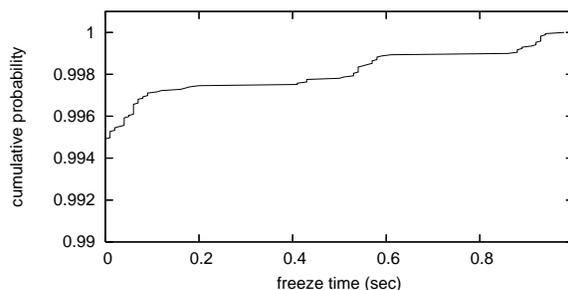


図 3 再生の途切れ時間の分布

ムに選んだ。ファンアウト数を 3、また、ピア間の伝搬遅延を 10 ms、ピアとサーバ間の伝搬遅延を 200 ms とした。186 秒の動画を、第 1 セグメントの長さ W を 6 秒として 5 つのセグメントに分割した。要求受付予備時間 C を 1 秒とした。SS には、毎秒平均 30 の一様分布でスケジュール決定要求が到着する。したがって、ある時刻において配信ツリーに参加しているピア数の平均は 2,790 となる。また、いずれのピアも毎秒 0.004 の確率でシステムから離脱させた。

SS にスケジュール決定要求を送信してから第 1 セグメントの受信、再生が開始されるまで平均の待ち時間は 2.94 秒であり、最大でも 6 秒未満であった。障害回復や配信遅延によりバッファが枯渇し、再生が中断した時間の合計を再生の途切れ時間とし、その分布を図 3 に示す。シミュレーションでは、全ピアの約 47% にあたる約 20,000 のピアが離脱することなく最後まで動画を視聴したが、およそ 0.5% のピアでのみ再生の途切れが発生し、その時間は最大でも 1 秒以下であった。したがって、提案機構により、数千、数万のピアに再生の途切れのない動画配信を提供できることが示された。

4 おわりに

本稿では、階層的な構造を持つネットワークにおいて、数千から数万のユーザに、再生開始までの待ち時間が小さく、再生の途切れのない動画ストリーミング配信を提供するための機構を提案し、その有効性を示した。今後はより効率のよい拠点間ツリーの構築手法、さらなる GTS の負荷軽減について検討したい。

参考文献

- [1] M. Hefeeda, A. Habib, B. Botev, D. Xu, and B. Bhargava, "PROMISE: Peer-to-Peer Media Streaming Using CollectCast," in *Proceedings of ACM Multimedia 2003*, pp. 45–54, Nov. 2003.
- [2] V. N. Padmanabhan, H. J. Wang, and P. A. Chou, "Resilient Peer-to-Peer Streaming," in *Proceedings of the 11th IEEE ICNP*, Nov. 2003.
- [3] S. Viswanathan and T. Imilelinski, "Pyramid Broadcasting for Video on Demand Service," in *Proceedings of the SPIE MCNC*, vol. 2417, pp. 66–67, Feb. 1995.