

P2P コンピューティング技術による オーバーレイストリーミングシステムの構築

土屋 健[†] 吉永 浩和[†] 小柳 恵一[†]

本稿では、多様化するトランスポート・IP ネットワークを隠蔽する既存の P2P プラットフォームを用いてストリーミングサービスを提供する場合の課題を明らかにし、その課題を解決するために既存の P2P である JXTA を拡張した STARCast を提案する。ストリーミングデータおよび制御プロトコルを環境に適応させるシームレスなストリーミングサービスはますます多様化するインターネット上で必要な機能となると考える。

An Overlay Streaming Architecture Use of P2P Computing Technology

TAKESHI TSUCHIYA,[†] HIROKAZU YOSHINAGA[†]
and KEIICHI KOYANAGI[†]

In this paper, we clarify the matters of current Peer-to-Peer (P2P) computing technology used as the streaming service platform, and we propose a streaming platform called STARCast which extends the current P2P framework (JXTA). This platform provides streaming service by overcoming some of the limitations and complexities of current network environments.

1. はじめに

近年、Peer-to-Peer (P2P) コンピューティングによるオーバーレイネットワーク技術は IP がレイヤ 2 以下の多様性を隠蔽したのと同様にヘテロジニアスなトランスポートおよび IP ネットワークを隠蔽している。現在、この性質を持つ代表的な P2P プラットフォームとして JXTA⁴⁾ や Groove⁶⁾ がある。サンマイクロシステムズによって推進されている JXTA ではレイヤ 4 以下をネットワークの改変なく隠蔽するオーバーレイプラットフォームが提案され、多くのオーバーレイアプリケーションが開発されている。また、Groove ではスケジューラなどのアプリケーションを提供することによりセキュアで動的なグループコラボレーション基盤を提供している。

しかし、これらのプラットフォーム上でストリーミングサービスを対象としたアプリケーションは皆無であり、今後ますますの拡大が予想されるストリーミングサービスをヘテロジニアスなネットワークの環境で提供することは必須の機能といえる¹⁾。

本稿ではまず、既存オーバーレイプラットフォームで

ある JXTA をストリーミングプラットフォームとして検討した場合の課題を明らかにする。次にその課題点を解決し、ストリーミングサービスのために JXTA プラットフォームを拡張した STARCast を提案する。多様な環境でサービスを提供するための各機能について議論し、評価を行う。この STARCast が提供するストリーミングサービスはユーザのモビリティとストリーミングが前提となる次世代型通信への 1 つの提案となると考えることができる。

2. 既存プラットフォームの問題点

筆者らは JXTA プロジェクト内でコラボレーションプラットフォームである JXCube⁵⁾ (JXTA eXtream Cube) を開発しており、ストリーミングアプリケーションとして eXstream を実装している。しかし、プラットフォームのキューのオーバフローによるデータ廃棄、キュー処理による遅延が発生しストリーミングサービスとして十分なパフォーマンスを提供できていない³⁾。その要因として以下があげられる。

- QoS 性質の異なるデータが混在
JXTA ネットワーク上には 2 種類のデータとしてネットワークを構成する制御データとストリーミングデータが存在する。ここで制御データとは資源 (ノード) 情報、サービス情報のようなオーバ

[†] 早稲田大学大学院情報生産システム研究科
Graduate School of Information, Production and Systems, Waseda University

レイネットワークを構成するデータであり、このデータは損失することはできない。逆に、映像や音声のストリーミングデータは、ある程度の損失は許容できるが、遅延は許容できないという性質を持つ。この QoS 性質の異なる 2 種類のデータは JXTA 上ではラウンドロビンによって公平に処理される。しかし、性質の違うデータが公平に扱われることによりストリーミングサービスが十分なパフォーマンスを得ることができない要因となっている。そのため、この性質の異なる 2 種類のデータは独立して扱われる必要がある。

● 経路上のノード数の増加による遅延

オーバレイのアプリケーションレベルルータとして動作する JXTA リレーにより環境に依存しないネットワーク機能を提供される。しかし、アプリケーションレイヤにおけるデータの転送はバースト的かつ永続的に発生するストリーミングデータに対し大きな遅延、損失の要因となる。しかし、多様な環境を隠蔽するためには JXTA リレーのようなリレー（中継）機能は必要である。そのため、ストリーミングデータの伝送にはネットワーク機能よりも遅延と損失を回避させるストリーミングリレー機構を構築し、アプリケーションレイヤでのホップ数を最小かつ中継による遅延を削減する必要がある。

3. STARCcast を構成する各機能

本章では前章であげた課題を考慮して、JXTA の機能を拡張したストリーミングプラットフォーム STARCcast (Streaming Transit AnywheRe broadCast) を提案する。STARCcast は前述した JXTA の問題を改善するために機能分割を行った 2 つの独立したネットワークプレーンを 3 つの機構（資源管理機構、ストリーミング機構、リレー機構）によって構築される。

3.1 制御データプレーン

制御データプレーン（図 1 左側中央部）は既存ストリーミングシステムに STARCcast が追加したノード情報の管理を行う資源管理機構により構築される。各ノードは資源 ID、提供するサービス ID、対応したコーデックなどの資源情報を XML で記述し、アドバタイズメントとして制御データプレーン上に告知する。これにより、プレーン上の資源の参照および検索が可能となる。STARCcast では 128 bit の ID によりすべての資源およびサービスが識別されている。

セッションを開始するためには通知されたアドバタイズメントを管理する資源管理機構から接続するノ

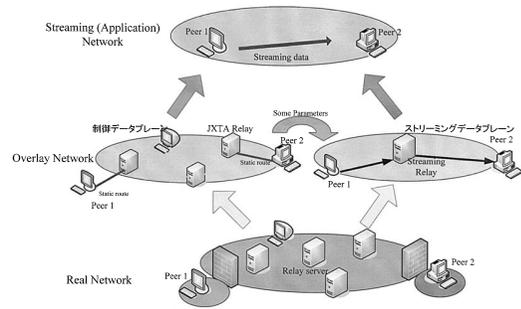


図 1 STARCcast のデータフロー
Fig. 1 Dataflow of the STARCcast.

ドをサービス・コーデックなどにより選択する。選択されたノードに対しセッションの開始を通知し、ネゴシエーションを開始する。開始ノードはこのネゴシエーションに基づき、中継機能が必要でない場合にはノード間で直接セッションを開始し、必要であればストリーミングデータプレーンでデータを中継する最適なストリーミングリレーノードを決定、通知する。この最適なリレーの選択にはネットワークパラメータ、ノードパラメータの複数メトリックのベクトル評価による選択²⁾を行うことにより最適なノードの選択が可能となる。この結果、特定のリレーにセッションが集中する可能性があるが、選択メトリックとして負荷を選択メトリックにいれることにより回避することができる。

制御データプレーンでノードが選択され、開始されるストリーミングセッションはストリーミングデータプレーン上において原則として 1 ホップ（直接通信する場合）もしくは 2 ホップ（ストリーミングリレーを利用した場合）となるようにルーティングされることになる。これはストリーミングデータプレーンでのノードスケラビリティを捨てる代わりにホップ数を制限し、遅延を回避するためである。今後十分な速度を得ることができるようになったのであれば、ストリーミングデータプレーン上でのスケラビリティは考慮する必要がある。

現在、資源管理機構は JXTA を用いて実装されている。そのため、制御データプレーンの各資源情報である他の資源のプレゼンス、提供サービスの取得はアドバタイズメントを利用しているため、発見・検索が可能となっている。

3.2 ストリーミングデータプレーン

ストリーミングデータプレーン（図 1 右側中央部）はストリーミングリレー機構とストリーミング機構によって構築される。ストリーミング機構はプレーン上でのストリーミング配信を実現し、ストリーミン

表 1 制御プロトコルと OCP のマッピング

Table 1 Mapping of the different control protocols.

OCF	RTSP	AV/c
PLAY (FORWARD)	PLAY Scale:+1	c338
PLAY (REVERCE)	PLAY Scale:-1	c348
RECORD (FORWARD)	RECORD	c275

グリレー機構はノード間の配信データを中継を行う。この両機構では各データのトランスポートプロトコル (UDP, TCP, Http) をユーザに意識させることのないシームレス環境を提供する。コストリーミング機構は STARCast と既存ストリーミングシステム間のゲートウェイとして動作し、資源管理機構から通知された情報に基づいたストリーミングリレーおよびトランスポートプロトコルを用いてストリーミングデータの配信を開始する。このとき、データの中継を行うストリーミングリレーではそれぞれのノード ID, ネットワーク情報などを登録し、ストリーミングデータの中継を開始する。また、両機構でのトランスポートプロトコルの変換 (e.g. RTP over UDP \Rightarrow RTP over Http over TCP) でデータの損失・遅延を回避するためのバッファ管理アルゴリズムが重要となり、本稿では RTP ヘッダのタイムスタンプを管理することにより積極的なパケット廃棄を行っている。

また、ストリーミングのオーバーレイ化するためにはデータの配信に加えてストリームを制御する RTSP⁷⁾ などのストリーム制御プロトコルをオーバーレイ化してトンネルするのではなく、表 1 に示すように、既存のストリーミング制御プロトコル間は概念に大きな相違がなく、プロトコル間の対応付けは容易である。そのため、新たにオーバーレイネットワークのストリーミング制御プロトコル OCP (Overlay Control Protocol) を定め、既存の制御プロトコルとの対応付けを行う。この OCP を定義することにより OCP を中間プロトコルとして利用して、RTSP や AV/C⁸⁾ のような異なるストリーミング制御プロトコル間の変換も可能となる。また、この制御プロトコル間のマッピングは異なるストリーミングシステム間をシームレスに相互接続を実現するためには必須な技術となる。

リレーによる中継とトランスポートプロトコルの変換は NAT および firewall 環境下のノードに対してもストリーミングサービスの提供を可能とする。このセンシティブなストリーミングサービスをヘテロジニアスなネットワーク環境で実現することはその他のネットワークサービス (e.g. データ配信, ファイル転送) を多様な環境に依存せずに提供可能であることを意味する。

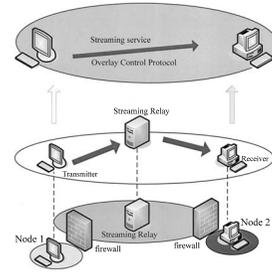


図 2 オーバレイ実験ネットワーク

Fig. 2 The experimental network on overlay network.

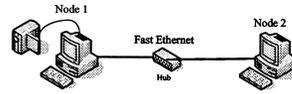


図 3 実験ネットワーク

Fig. 3 The experimental network in general network.

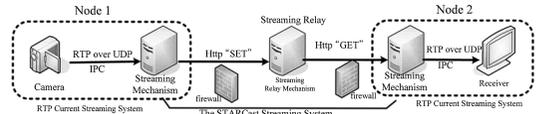


図 4 トランスポートプロトコルの変換

Fig. 4 The adaptation of transport protocol network.

4. 評価

本章では提案した STARCast の評価実験を行い、既存システムとの比較を行う。

4.1 実験概要

図 2 に示す多様なトランスポート環境を想定したネットワークを構築する。本実験ではカメラからのストリーム (320 × 240, 15 fps) をノード 1 からノード 2 へストリーミングリレー経由でストリーミングデータを送信し (図 2), 映像フレームあたりに伝送に要する時間を計測する。このとき、配信されるデータはルーティング上で図 4 に示すようにトランスポートプロトコルが変換されている。また、この比較として、Java JMF (Java Media Framework) で実装された一般的な RTP を用いたストリーミングと JXTA を利用した eXstream を図 3 のネットワークで同様の実験および計測を行う。eXstream は JXTA リレーを用いることにより図 2 に示すネットワークでストリーミングサービスを提供することは可能である。しかし、2 章で議論した課題により、評価に値する結果を得ることができないためトランスポートプロトコルの変換が発生しない図 3 のネットワークで実験を行った。

4.2 実験結果および考察

本評価の結果を図 5 に評価の結果を示す。このグラフ中 x 軸はストリーミングの映像フレーム番号, y 軸はノード 1 とノード 2 間の伝送に要した時間を示して

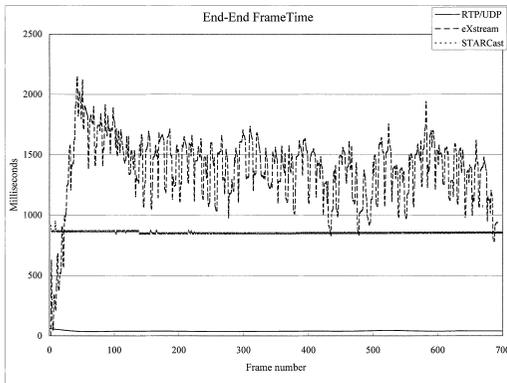


図 5 フレーム転送に要した時間
Fig. 5 The frame forwarding time.

いる。STARCast と eXstream を比較すると、20%以上のフレーム伝送時間の削減を実現している。この改善の要因としてはデータフローを制御データプレーンとストリーミングデータプレーンに分割したことにより、ペイロード特性に応じた処理が行われていることとアプリケーションレイヤでのマルチホップノード数の減少があげられる。また、キューのオーバフローおよびその再送に起因したパケット損失を軽減させ、STARCast は eXstream と比べてオーバーレイネットワーク全体が安定し、映像フレームの伝送に要する時間が安定している。

図 5 の STARCast と RTP over UDP ストリーミングを比較すると、STARCast は映像フレーム伝送に約 20 倍の時間を要しており、キュー処理の改善、実装の改善により、その値を近づける必要がある。また現在の実装であっても配信遅延がある程度許容することができるオンデマンド型ストリーミング配信システムへの適用を期待でき、STARCast 技術によりオーバーレイネットワーク CDN を構築することが可能となる。このとき、スループットを向上させるためにコンテンツを分散配置させたマルチパス方式⁹⁾を実装することにより十分にサービスを提供できる。

また、STARCast の OCP と資源管理機構を用いることにより異種ストリーミングシステム間を相互に接続し、システム間の違いを感じさせないシームレスなストリーミング環境を実現し、これによりネットワーク環境、端末環境にも依存しないストリーミング環境が構築される。

5. おわりに

本稿では既存オーバーレイプラットフォーム JXTA をストリーミングプラットフォームとして利用するうえ

での課題を指摘し、その課題を解決するために JXTA を拡張した STARCast の提案を行った。提案では QoS 要求の異なるデータフローを分割し、独立して処理することと、各種メトリックによる動的な中継ノードの選択によりオーバーレイネットワークでのホップ数の削減とノード最適化によりヘテロジニアスな環境でストリーミングサービスを実現可能とした。また、実装した STARCast を用いて、既存ストリーミングと JXTA を用いた eXstream と比較評価を行った。このとき、eXstream と比較して 20%以上のパフォーマンスの改善と多様な環境に適応したストリーミングサービスを可能としたが、オーバーレイ化に起因する遅延が大きく実用的ではない。今後の課題としてはこの遅延が大きく影響しない STARCast 技術を用いた次世代コンテンツデリバリー技術の開発を予定している。

謝辞 本研究は NTT 未来ねっと研究所および NTT DoCoMo との共同研究として行われ、この一部は早稲田大学特定課題 2004A-327 として行われました。本研究の一部は NiCT JGN2 プロジェクト (JGN2-A16065) の支援を受けています。

参考文献

- 1) Tsuchiya, T., Yoshinaga, H. and Koyanagi, K.: STARCast: Streaming Collaboration Architecture on Heterogeneous Environment Everywhere, *Workshop on ACM Multimedia*, New York (Oct. 2004).
- 2) Yoshinaga, H., Tsuchiya, T. and Koyanagi, K.: A Coordinator Election Using the Object Model in P2P Networks, *3rd International Workshop on AP2PC*, New York City (July 2004).
- 3) 吉永浩和: P2P 演習プログラミング, *C Magazine*, pp.131-139, ソフトバンク (Feb. 2004).
- 4) Project JXTA. <http://www.jxta.org/>
- 5) Project JXCube. <http://jxcube.jxta.org/>
- 6) Groove Network, inc.: Groove Product Backgrounder, Corporate whitepaper (2002).
- 7) Schulzrinne, H., et al.: Real Time Streaming Protocol (RTSP), RFC 2326.
- 8) AV/C Digital Interface Command Set General Specification, Audio/Video Working Group of the 1394 Trade Association.
- 9) Hsieh, H. and Sivakumar, R.: Accelerating Peer-to-Peer Networks for Video Streaming Using Multipoint-to-Point Communication, *IEEE Communications Magazine*, pp.111-119 (Aug. 2004).

(平成 17 年 1 月 12 日受付)

(平成 17 年 4 月 1 日採録)